

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

**ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS
DE MAMPOSTERÍA DE LADRILLO DE DOS FÁBRICAS DE QUITO
MEDIANTE ENSAYOS DESTRUCTIVOS**

**ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS
DE MAMPOSTERÍA DE LADRILLO DE DOS FÁBRICAS DE QUITO
MEDIANTE ENSAYOS DESTRUCTIVOS**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

PAÚL DANILO LÓPEZ SIMBA

paul.lopez01@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING.MARÍA BELÉN CORREA VALLEJO M.SC.

maria.corream@epn.edu.ec

Quito, febrero 2023

CERTIFICACIONES

Yo, PAÚL DANILO LÓPEZ SIMBA declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.



PAÚL LÓPEZ

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por PAÚL DANILO LÓPEZ SIMBA, bajo mi supervisión.



ING. MARÍA BELÉN CORREA
DIRECTORA DEL PROYECTO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

PAÚL DANILO LÓPEZ SIMBA

ING. MARÍA BELÉN CORREA VALLEJO M.SC.

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a mi madre Orfelina Simba y a mi hermano Andrés López, por haberme ayudado en este largo proceso de preparación profesional, quienes con su esfuerzo y apoyo supieron ser mis pilares de sujeción durante toda mi trayectoria como estudiante.

También dedico este trabajo a mi hijo Andresito López quien está en camino y es el motor principal de mi esfuerzo.

Paul López

AGRADECIMIENTO

Agradezco a todos mis profesores quienes de una u otra forma dejaron en mi un granito de arena, para que pueda formarme como profesional, de igual manera un extenso agradecimiento a mi directora de tesis la Ing. María Belén Correa por toda su paciencia en el desarrollo del trabajo de investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	II
DEDICATORIA	III
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
RESUMEN.....	XI
ABSTRACT.....	XII
1 INTRODUCCIÓN.....	13
1.1 Objetivo general.....	14
1.2 Objetivos específicos	14
1.3 Alcance	14
1.4 Marco teórico	15
1.4.1 Definición de mampostería.....	15
1.4.2 Ladrillo	15
1.4.3 Mortero de pega	16
1.4.4 LVDTs.....	17
1.4.5 Marco de carga.....	17
1.4.6 Propiedades de la mampostería	18
1.4.7 Modos de falla de la mampostería	24
2 METODOLOGÍA.....	26
2.1 Muestreo y montaje.....	26
2.2 Número de lotes.....	28
2.2.1 Traslado y ubicación del ladrillo, cemento y arena.....	29
2.2.2 Número de muretes a ensayarse.....	30
2.2.3 Fabricación de especímenes cúbicos de mortero	31
2.3 Ensayo de componentes.....	32
2.3.1 Ensayo de absorción del ladrillo	32

2.3.2	Ensayo de compresión de ladrillo (f_b).....	35
2.3.3	Determinación de la resistencia a la compresión (f_j) alcanzada del mortero de pega a los 28 días.....	38
2.4	Ensayo de especímenes.....	42
2.4.1	Ensayo de compresión en muretes ($F'M$).....	42
2.4.2	Ensayo de tensión diagonal (corte) en muretes (T_m).....	48
3	RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	52
3.1	Tratamiento estadístico de datos.....	52
3.1.1	Resultados de análisis granulométrico.....	53
3.1.2	Absorción de ladrillos.....	54
3.1.3	Resistencia a compresión de cubos de mortero.....	55
3.1.4	Resistencia a compresión de ladrillos.....	57
3.1.5	Resistencia a compresión de muretes de ladrillo.....	58
3.1.6	Resistencia a tensión diagonal (corte) de muretes de ladrillo.....	60
3.1.7	Módulo de elasticidad de la mampostería.....	62
3.1.8	Módulo de corte de la mampostería.....	66
3.1.9	Módulo de Poisson de la mampostería.....	69
3.1.10	Módulo de elasticidad de la mampostería vs resistencia a la compresión de la mampostería.....	71
3.1.11	Módulo de elasticidad de la mampostería vs módulo de corte de la mampostería.....	72
3.1.12	Comparación de resultados con la norma NEC-SE-MP.....	73
3.1.13	Módulo de elasticidad.....	73
3.1.14	Módulo de corte.....	73
3.2	Conclusiones.....	74
3.3	Recomendaciones.....	75
4	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76
5	ANEXOS.....	78
5.1	Anexo I: Informes de laboratorios.....	78

5.2	Anexo II: Gráficas de Resistencia a compresión vs Deformación Unitaria para el lote D	82
5.3	Anexo III: Gráficas de Resistencia a compresión vs Deformación Unitaria para el lote E	88
5.4	Anexo IV: Gráficas de Resistencia a tensión diagonal vs Deformación Unitaria para el lote D	94
5.5	Anexo V: Gráficas de Resistencia a tensión diagonal vs Deformación Unitaria para el lote E	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tabla tipo de ladrillos	16
Figura 2. Sensores de desplazamiento LVDTs	17
Figura 3. Marco de carga	18
Figura 4. Detalles de murete	20
Figura 5. Esquema de murete resistencia a corte de la mampostería.....	22
Figura 6. Falla de fricción de junta	24
Figura 7. Falla a tensión diagonal	25
Figura 8. Falla a compresión.....	25
Figura 9 Lotes de ensayo.....	26
Figura 10. Lotes de ensayo D	27
Figura 11. Lotes de ensayo.....	27
Figura 12. Lotes de ensayo E	28
Figura 13. Lote de ensayo.....	29
Figura 14.Ubicación de los lotes de ladrillo	29
Figura 15. Ubicación del cemento	30
Figura 16. Enumeración de muretes.....	31
Figura 17. Esquema cubo de mortero	31
Figura 18. Balanza electrónica.....	33
Figura 19. Horno de secado.....	34
Figura 20. Muestra de ladrillo refrentado	37
Figura 21. Equipo de ensayo	41
Figura 22. Construcción de muretes 70x70 cm	43
Figura 23. Esquema de murete y detalle constructivo	44
Figura 24.Curado de muretes	45
Figura 25. Esquema de dispositivo de medición LVDTs ensayo de compresión.....	46
Figura 26. Esquema de dispositivo de medición LVDTs ensayo tensión diagonal	50
Figura 27. Curva granulométrica.....	53
Figura 28. Muretes ensayados a compresión lote D y E.....	58
Figura 29.Muretes ensayados a tensión diagonal lotes D y E	60
Figura 30.Curva esfuerzo vs deformación unitaria de lote D	62

Figura 31. Curva esfuerzo vs deformación unitaria de lote E	62
Figura 32. Curva esfuerzo vs deformación unitaria muestra D1	63
Figura 33. Curva esfuerzo vs deformación unitaria muestra E1	64
Figura 34. Curva esfuerzo de corte vs deformación unitaria lote D	66
Figura 35. Curva esfuerzo de corte vs deformación unitaria lote E	67
Figura 36. Curva esfuerzo de corte vs deformación unitaria muestra D6	67
Figura 37. Curva esfuerzo de corte vs deformación unitaria muestra E6	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Resistencia a la compresión del mortero</i>	19
Tabla 2. <i>Factores correctivos para la resistencia</i>	21
Tabla 3. <i>Cuadro de dosificación para morteros</i>	35
Tabla 4. <i>Cuadro de propiedades longitudinales de ladrillo</i>	36
Tabla 5. <i>Variaciones permisibles en moldes para especímenes</i>	39
Tabla 6. <i>Cuadro de dosificación para morteros</i>	40
Tabla 7. <i>Tolerancia admisible para la edad de ensayo de cubos</i>	42
Tabla 8. <i>Critical values for standard devialtial</i>	53
Tabla 9. <i>Resultado de análisis granulométrico</i>	53
Tabla 10. <i>Resultado de ensayo de absorción de ladrillo</i>	54
Tabla 11. <i>Resultado de ensayo de compresión de cubos de mortero</i>	55
Tabla 12. <i>Resultado de análisis estadístico de compresión cúbica de mortero</i>	56
Tabla 13. <i>Resultado de eliminar valores atípicos de compresión cúbica de mortero</i>	56
Tabla 14. <i>Resultado del ensayo a compresión de ladrillos lote D</i>	57
Tabla 15. <i>Resultado del ensayo a compresión de ladrillos lote E</i>	57
Tabla 16. <i>Resultado de análisis estadístico de resistencia a compresión</i>	57
Tabla 17. <i>Resultado de ensayo a compresión de muretes de ladrillo lotes D y E</i>	58
Tabla 18. <i>Resultado de análisis estadístico de compresión de muretes de ladrillo</i>	59
Tabla 19. <i>Resultado de análisis estadístico sin valores atípicos</i>	60
Tabla 20. <i>Resumen del ensayo tensión diagonal de muretes lotes D y E</i>	60
Tabla 21. <i>Resultado de análisis estadístico de tensión diagonal lotes D y E</i>	61
Tabla 22. <i>Resultado de análisis estadístico de tensión diagonal promedio lotes D y E</i> ... 62	62
Tabla 23. <i>Resultado de módulos de elasticidad lotes D y E</i>	65
Tabla 24. <i>Resultado de análisis estadístico lotes D y E</i>	65
Tabla 25. <i>Resultado de análisis estadístico lotes D y E con valores atípicos</i>	66
Tabla 26. <i>Resultado de análisis estadístico del módulo de elasticidad promedio</i>	66
Tabla 27. <i>Resumen de los valores de módulo de corte</i>	69
Tabla 28. <i>Resultado de análisis estadístico de módulo de corte lotes D y E</i>	69
Tabla 29. <i>Resultado de valores de módulo de Poisson lotes D y E</i>	70
Tabla 30. <i>Resultado de análisis estadístico de módulo de Poisson lotes D y E</i>	70
Tabla 31. <i>Resultado de análisis de módulo de Poisson lotes D y E con valores atípicos</i> 71	71
Tabla 32. <i>Resultado de análisis de módulo de Poisson promedio</i>	71
Tabla 33. <i>Relación módulo de elasticidad vs resistencia a la compresión</i>	72
Tabla 34. <i>Relación módulo de elasticidad vs módulo de corte</i>	72

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo con el objetivo de analizar el estudio experimental de las propiedades mecánicas de mampostería de ladrillos de dos fábricas de Quito mediante ensayos destructivos, como lo es el ensayo de resistencia a compresión y resistencia a tensión diagonal, tanto de las unidades de ladrillo como el de muretes construidos.

Para lo cual se llevó a cabo la construcción de los muretes en los exteriores del centro de investigación de la vivienda CIV, para luego ser trasladados al interior del laboratorio en mención, cabe recalcar que antes de ingresar se tuvo que realizar el respectivo curado o fraguado de los especímenes muestrales, una vez listos se procedió a realizar los protocolos de ensayos y la respectiva preparación de equipos y materiales de ensayo.

Finalmente, se obtuvieron un total de 10 datos del ensayo de resistencia a la compresión de los lotes D y E, 10 datos del ensayo de resistencia a tensión diagonal de los lotes D y E, con los datos obtenidos se realiza el análisis de investigación para luego presentar los resultados finales en tablas y figuras. De acuerdo con el capítulo 5 de la norma (NEC-SE-MP, 2015) sección 5.3.1, la ecuación que presenta la norma y los valores que se obtuvieron en el trabajo de investigación se encuentran dentro del rango, es decir son menores a 20000MPa, por lo tanto, se confirma que el módulo de elasticidad (E_m) es variable de acuerdo con la calidad y procedencia de los componentes que lo conforman.

Palabras clave: resistencia a la compresión, resistencia a tensión diagonal, módulo de elasticidad, módulo de corte.

ABSTRACT

The present research work was carried out with the objective of analyzing the experimental study of the mechanical properties of brick masonry from two factories in Quito through destructive tests, such as the compressive strength and diagonal tensile strength test, both of brick units such as low walls built.

For which the construction of the low walls was carried out outside the research center of the CIV house, to later be transferred to the interior of the laboratory in question, it should be emphasized that before entering the respective curing or setting had to be carried out of the sample specimens, once ready, the test protocols and the respective preparation of test equipment and materials were carried out.

Finally, a total of 10 data were obtained from the compressive strength test of lots D and E, 10 data from the diagonal tension resistance test of lots D and E, with the data obtained, the research analysis is carried out to then present the final results in tables and figures. According to chapter 5 of the standard (NEC-SE-MP, 2015) section 5.3.1, the equation presented by the standard and the values obtained in the research work are within the range, that is, they are less than at 20,000 MPa, therefore, it is confirmed that the modulus of elasticity (E_m) is variable according to the quality and origin of the components that make it up.

Keywords: compressive strength, diagonal tensile strength, modulus of elasticity, shear modulus.

1 INTRODUCCIÓN

El estudio experimental de las propiedades mecánicas de la mampostería hecha a base de ladrillos es una investigación que tiene como primer punto realizar una clasificación del ladrillo en fábricas de la ciudad de Quito y sus alrededores. Con el pasar del tiempo el uso del ladrillo se hizo más sofisticado, no obstante, no es la realidad del país, ya que no se han dado grandes saltos en el entendimiento del comportamiento mecánico de la mampostería de ladrillo, a diferencia de materiales como el hormigón y el acero de los cuales se tiene mucha información (Romero, 2021)

Dado que no existe mucha información de este material en investigaciones previas, se construirán muretes de mampostería que a su vez serán ensayados de manera destructiva en el laboratorio Centro de Investigación de la Vivienda (CIV) EPN, el ensayo consiste en aplicar una carga monolítica sobre los muretes de mampostería de ladrillo ya sea está sometida a compresión o tensión diagonal, posterior al ensayo, se realizará un tratamiento de datos para obtener las propiedades mecánicas de la mampostería: resistencia a la compresión ($f'm$), módulo de elasticidad (E_m), resistencia a la tensión diagonal (T_m), y el módulo de corte (G_m). Obtenidos todos los parámetros anteriormente mencionados, como segundo punto se realizará la correlación entre el módulo de elasticidad y la resistencia a la compresión de la mampostería, que es a donde queremos llegar con la investigación (Bravo & Flores, 2015).

Con los resultados obtenidos, el trabajo realizado será de gran aporte a futuras investigaciones y brindará información valiosa tanto al sector industrial como al académico. La empresa que comercializa mampostería a base de ladrillo debe ajustarse a las normativas de producción y construcción: (NEC SE MP Mampostería Estructural, NTE INEN 3049 Ladrillos Cerámicos), para que pueda comercializar un material de alta calidad a un bajo costo, respaldado siempre de un informe de laboratorio de ensayo de materiales en el cual especifiquen si el material cumple con todas las características y propiedades esperadas. Entrando al ámbito académico las correlaciones obtenidas podrán implementarse en aplicaciones computacionales para el estudio y modelado de mampostería, ya sean estas confinadas o aporricadas según la necesidad del profesional. Además, que puede ser una fuente de datos confiable para posteriores estudios probabilísticos, estadísticos en materia de propiedades mecánicas de mampostería de ladrillo realizadas en el país.

1.1 Objetivo general

Evaluar las propiedades mecánicas de la mampostería mortero-ladrillo de una muestra de dos fábricas de ladrillo comercializadas en Quito. Mediante ensayos destructivos para obtener correlaciones entre la unidad, el mortero y la mampostería.

1.2 Objetivos específicos

- Realizar una correcta caracterización y clasificación del ladrillo de cada fábrica.
- Evaluar la resistencia a compresión de prismas de ladrillo mediante ensayos destructivos para determinar el módulo de elasticidad de la mampostería.
- Evaluar la resistencia a corte de muretes de ladrillo mediante ensayos de tensión diagonal para determinar el módulo de rigidez de la mampostería.

1.3 Alcance

El propósito de la investigación práctica es determinar las propiedades mecánicas de la mampostería de ladrillo y mortero de pega mediante ensayos de laboratorio para evaluar su calidad, por lo tanto, se definirá la resistencia a la compresión ($f'm$), módulo de elasticidad (E_m), resistencia a la tensión diagonal (T_m), y el módulo de corte (G_m) (Romero, 2021).

Se realizará una investigación documental de revistas, artículos, tesis, papers, e investigaciones sobre propiedades mecánicas de la mampostería de ladrillo. En la fase experimental se estimará el número de muretes a ensayar por cada fábrica de ladrillos de la ciudad de Quito para compresión y tensión diagonal.

La selección del tamaño de la muestra de cada fábrica a ser analizada y posteriormente tratada es de 5 ensayos de compresión y 5 de tensión diagonal, que permitirá tener datos confiables desde el punto de vista estadístico (Zimmermann, 2004).

Se fabricarán 5 especímenes cúbicos de mortero con 50 mm de arista para determinar la resistencia a la compresión cúbica de morteros de cemento (ASTM C129-17, 2017), junto a esto se realiza el análisis granulométrico del agregado, ensayo de absorción de ladrillo (NTE-INEN-3049, 2018), ensayo compresión de ladrillo, con todos los resultados previos obtenidos en los diferentes ensayos, se procederá a la fabricación de los muretes de mampostería de ladrillo. El proceso de curado de los muretes consiste en mantenerlos cubiertos durante los primeros 14 días con una membrana de polietileno, durante los días

restantes hasta cumplir los 28 días de curado se deben mantener descubiertos en las condiciones ambientales del laboratorio (NEC-SE-MP, 2015).

Ya en la parte final se procederá a realizar el ensayo de adhesión de duplas de ladrillo, específicamente la adhesión entre el mortero y piezas de mampuestos que se evaluarán según la norma ASTM C952-12. Ensayo de compresión (f_m) de muretes se lo hace en base la norma (ASTM C1314-18, 2018). Ensayo de tensión diagonal (cortante) (T_m) está basado en la norma (ASTM-E519/E519M-10, 2010). Con los resultados de ensayos finalmente obtenidos queda a criterio del tesista formular un eficiente tratamiento de datos, con el cual podrá llegar a los resultados planteados inicialmente y concluir exitosamente la investigación.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Definición de mampostería

La mampostería pertenece a los materiales más usados desde la antigüedad hasta el día de hoy. Se define como un sistema de construcción tradicional, constituido por partes naturales y moldeadas artificialmente, encajadas entre sí por un mortero adherente (Pachano, 2018).

Actualmente, para el análisis de estructuras de pórticos de concreto reforzado con muros de mampostería de ladrillo sometidas a cargas laterales, existen métodos que proponen de manera simplificada utilizar un elemento resorte con propiedades equivalentes para modelar el muro; estos métodos permiten obtener una estimación adecuada de la rigidez (Bravo & Flores, 2015). La mampostería es uno de los primeros sistemas tradicionales de construcción que se ha venido utilizando desde los años 70 en la ciudad de Cuenca donde la mampostería consiste en muros o paredes de ladrillo combinando con este sistema estructural, columnetas y viguetas de hormigón armado que rodea el panel para proporcionar mayor resistencia y confinamiento a la estructura, definiendo a este nuevo sistema como mampostería confinada (Pachano, 2018).

1.4.2 Ladrillo

El ladrillo es la unidad de mampostería elaborada de arcilla o tierra arcillosa quemada o cocida en un horno, a veces con adición de otros materiales, de suficiente plasticidad o consistencia para que puedan tomar forma permanente y secarse sin presentar grietas, nódulos o deformaciones (Camargo & Beatriz, 2020). Norma Técnica Ecuatoriana del

Instituto Ecuatoriano de Normalización (NTE INEN) 3049 Parte1 (Camargo & Beatriz, 2020).

Los ladrillos se fabrican por el procedimiento de cocción al rojo, a una temperatura mínima de 800° C. Una vez cocidos, deben tener una masa homogénea de resistencia uniforme. Deben tener un color rojizo y, cuando se golpean con un material duro, deben emitir un sonido metálico (Romero, 2021).

En las construcciones proyectadas según el sistema de coordinación modular, se aplicarán las disposiciones de la norma INEN 317. Coordinación modular de la construcción. Dimensiones modulares de ladrillos cerámicos (Romero, 2021). En otros casos se utilizará la siguiente figura 1.

(1) Tipo de ladrillo	(2) Largo L	(3) Ancho a	(4) Alto h
Común	39	19	9
De máquina	39	19	9
Repreñado	29	14	9
	29	19	9
hueco	29	14	9
	29	19	19
	29	19	14
	29	19	9

Figura 1. Tabla tipo de ladrillos

Fuente: (Romero, 2021)

1.4.3 Mortero de pega

El mortero de pega es un tipo de ligante constituido en partes por cemento y arena (fina), en algunos casos se permite el uso de cal para mejorar el mortero, que permite la unión entre los ladrillos, para así formar un conjunto llamado mampostería.

Las propiedades mecánicas del mortero que tienen mayor influencia en el comportamiento estructural de la mampostería con su deformabilidad y su adherencia con las piezas. La deformabilidad depende de las deformaciones totales de los elementos de la mampostería y su resistencia a cargas verticales en cambio la adherencia producida entre las unidades del ladrillo y el mortero, se definirá en los ensayos de adhesión (Camargo & Beatriz, 2020).

1.4.4 LVDTs

Los LVDTs son aparatos de medida que reciben señales eléctricas equivalentes, con el fin de medir desplazamientos, para el presente trabajo nos centraremos en el desplazamiento inductivo generado por el aparato de medida (Ferrero, 2021).

La sensibilidad de un LVDT generalmente se define como un cambio en el voltaje de salida por unidad de desplazamiento del núcleo por voltio de suministro, para modo de ejemplo la sensibilidad de los transductores es del orden de (0.2-1.2) mV por 0.01 mm de desplazamiento por voltio de excitación (Ferrero, 2021).

Principales características de los LDVT

- Alto nivel de la señal eléctrica de salida que permite la conexión directa a registradores y oscilógrafos.
- Posibilidad de utilizar una amplia gama de tensiones y frecuencias de alimentación (50 Hz a 20 KHz).
- Buena linealidad para una amplia gama de impedancia de carga.



Figura 2. Sensores de desplazamiento LVDTs

Fuente: negatrones accesorios

1.4.5 Marco de carga

El marco de carga es un equipo del centro de investigación de la vivienda que está constituido por una viga de apoyo, gato hidráulico, y una celda de carga.

Viga de Apoyo: es un elemento estructural que suele estar apoyado o empotrado en sus extremos sobre pilares o también llamados columnas, su función es soportar cargas uniformes o puntuales.

Gato Hidráulico: es una herramienta indispensable para levantar cargas muy pesadas o en nuestro caso nos sirve para aplicar una carga monocíclica a un espécimen o probeta de

prueba, su accionamiento puede ser manual o automático dependiendo el caso para poder regular su fuerza de aplicación.

Celda de Carga: este aparato permite regular o equilibrar el conjunto de carga para que pueda transmitir la fuerza actuante de manera uniforme al elemento de ensayo.

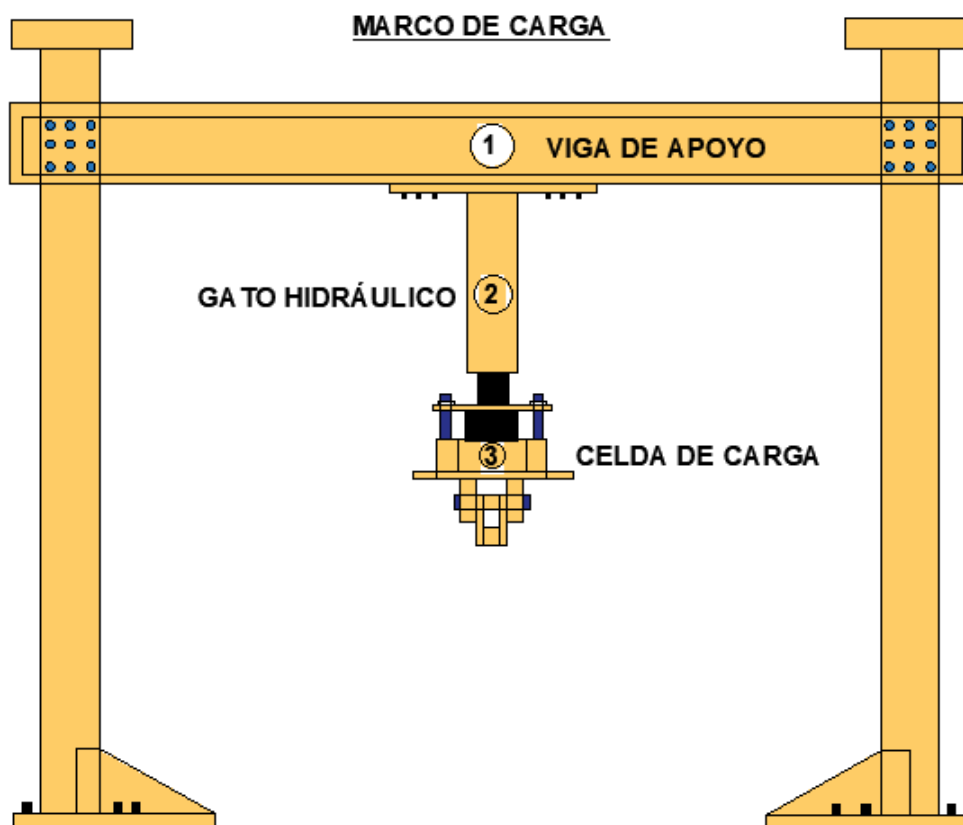


Figura 3. Marco de carga
Fuente: elaboración propia

1.4.6 Propiedades de la mampostería

1.4.6.1 Resistencia a compresión del ladrillo (f'_b)

La resistencia mecánica es la capacidad de los cuerpos para resistir las fuerzas aplicadas sin llegar a romperse, esta propiedad mecánica depende del material y geometría de los cuerpos NTE INEN-488 16. A continuación, se describirá el ensayo a realizar para su determinación.

Puede usarse cualquier máquina de compresión provista de plato con rótula de segmento esférico, siempre que las superficies de contacto de los apoyos sean iguales o mayores que las muestras de prueba NTE INEN-488 16.

Las muestras por utilizarse consisten en mitades de ladrillos con caras planas y paralelas. Obtenidas de cinco ladrillos secos, enteros y sin defectos apreciables, cortados mediante herramientas adecuadas, para evitar que se deterioren las aristas NTE INEN-488 16.

En caso de que las muestras presenten algún tipo de irregularidad en sus caras inferior y superior se procede a cubrir las mismas con una capa muy fina de pasta de cemento Pórtland en relación 1:1 con arena fina, a este proceso lo llamamos el refrentado de las caras inferior y superior. Se deja secar por un lapso de 24 horas, para luego realizar el ensayo pertinente NTE INEN-488 16.

La resistencia a la compresión se calcula por la siguiente ecuación:

$$C = \frac{P}{A}$$

Donde:

C= la resistencia a la compresión, en [MPa]

P= la carga de rotura en [N]

A= Área de la sección en [mm^2]

1.4.6.2 Resistencia a compresión del mortero (f'_j)

La resistencia a compresión de mortero (f'_j) se la puede determinar mediante el ensayo a compresión directa de cubos de mortero de 50mm de lado según la norma ASTM C109M-16, o mediante cilindros de relación alto-diámetro 2 a 1 al igual que el hormigón, con la norma ASTM C39/C39M-18. La resistencia que se debe obtener está dada por la proporción de los materiales, la calidad de estos y el tipo de cemento empleado (Pachano, 2018). La normativa NEC-SE-MP 2014 en la tabla 1 indica las dosificaciones para varios tipos de morteros.

Tabla 1.
Resistencia a la compresión del mortero

Tipo de Mortero	Resistencia mínima a la Compresión 28 días (MPa)	Composición en Partes por Volumen		
		Cemento	Cal	Arena
M20	20,00	1,0	-	2,5
M15	15,00	1,0	-	3,0
		1,0	0,5	4,0
M10	10,00	1,0	-	4,0
		1,0	0,5	5,0
M5	5,00	1,0	-	6,0
		1,0	1,0	7,0
M2,5	2,50	1,0	-	7,0
		1,0	2,0	9,0

Fuente: NEC-SE-MP 2014

1.4.6.3 Resistencia a compresión de la mampostería ($f'm$)

La resistencia a la compresión de la mampostería es la capacidad que tiene el conjunto de ladrillo y mortero que conforman el murete, a resistir las fuerzas externas aplicadas. La diferencia de módulo de Poisson entre los dos materiales que componen la mampostería hace que, bajo una misma sollicitación de carga, estos se encuentren en diferentes estados tensionales (Pachano, 2018).

Típicamente el módulo de Poisson del mampuesto es menor al módulo de Poisson del mortero, cuando se realiza una compresión en dirección perpendicular a la hilada del mortero, es relevante en esta sección porque se realizará el ensayo de compresión en la dirección paralela a la hilada del mortero y de esta forma se sabrá la resistencia a compresión que generará la fricción y adhesión de los dos materiales.

El valor de la resistencia a compresión en la norma NTE INEN 488-16 está referido a los 28 días, si se considera que el muro recibirá las acciones de diseño antes de este lapso, se deberá evaluar la resistencia para el tiempo estimado (Bravo & Flores, 2015).

A continuación, se detallará cómo se realizará el ensayo, para determinar la resistencia a compresión de la mampostería.

Se realizará el ensayo de resistencia a compresión en muretes construidos como se muestra en la figura 4 con las piezas y mortero que se utilizaran en la obra (Ferrero, 2021).

Este murete será ensayado a los 28 días después de ser construido, en el laboratorio del centro de investigación de la vivienda y se aplicará una carga uniformemente distribuida monocíclica sobre la superficie superior del murete.

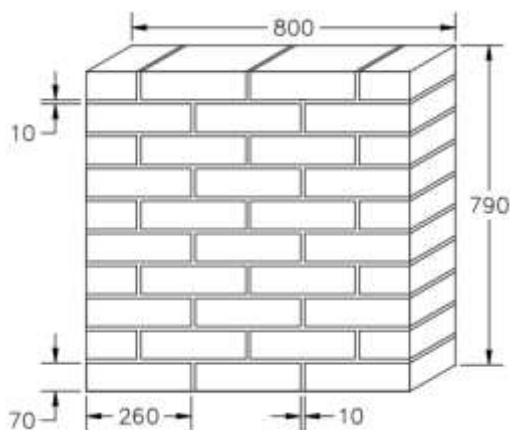


Figura 4. Detalles de murete
Fuente: (Bravo & Flores, 2015)

El esfuerzo medio obtenido mediante el ensayo de compresión tiene que ser corregido, multiplicando por un factor que se expresa en la siguiente tabla 2.

Tabla 2.
Factores correctivos para la resistencia

Factores correctivos para la resistencia de la pila con diferentes relaciones de altura-espesor				
Relación altura-espesor	2	3	4	5
Factor correctivo	0.75	0.90	1.00	1.05

Fuente: (Bravo & Flores, 2015).

El esfuerzo medio $\overline{f_m}$ obtenido calculado sobre el área bruta deberá ser corregido usando la tabla 2, para mayor claridad se dividirá la altura del murete para el ancho de éste, es decir 70/14 cm que nos arroja un resultado de 5, valor que lo podemos observar en la tabla 2, y a la vez tenemos el factor correctivo de 1.05, siendo la relación altura-espesor la esbeltez el cual incidirá en la estabilidad del murete.

La resistencia a la compresión de la mampostería se calcula con la siguiente expresión dada por (Bravo & Flores, 2015).

$$f_m^* = \frac{f_c * \overline{f_m}}{1 + 2.5C_m}$$

Ecuación 1

Donde:

f_m^* : Resistencia de diseño a compresión de la mampostería referente al área bruta (Bravo & Flores, 2015).

$\overline{f_m}$: Media de la resistencia a compresión de los muretes corregido por su relación altura-espesor (Pachano, 2018).

C_m : coeficiente de variación de la resistencia a compresión de los muretes de mampostería, en ningún caso se toma inferior a 0.15 (Pachano, 2018).

f_c : factor correctivo

1.4.6.4 Resistencia a corte de la mampostería (v_m^*)

La resistencia a corte principalmente es la resistencia a tensión que presentarán las piezas de la mampostería, en este sentido el resultado que arroja el ensayo a compresión diagonal sirve para determinar la adhesión y el coeficiente de fricción en las superficies de contacto entre los dos materiales.

Para determinar la resistencia a corte o compresión diagonal de la mampostería se lo realizará con el procedimiento que se indica a continuación (Bravo & Flores, 2015).

El ensayo se realizará con muretes contruidos con los ladrillos y el mortero preparado en obra. Los muretes tendrán una longitud de al menos 1.5 veces la longitud del elemento de ladrillo y el número de hileras necesario para que la altura sea aproximadamente a la longitud como se muestra en la figura 5, estos muretes se ensayarán sometiéndolas a cargas de compresión monótonas a lo largo de la diagonal, y el esfuerzo a corte medio se determinará dividiendo para la carga máxima entre el área bruta del murete medido sobre la misma diagonal (Camargo & Beatriz, 2020).

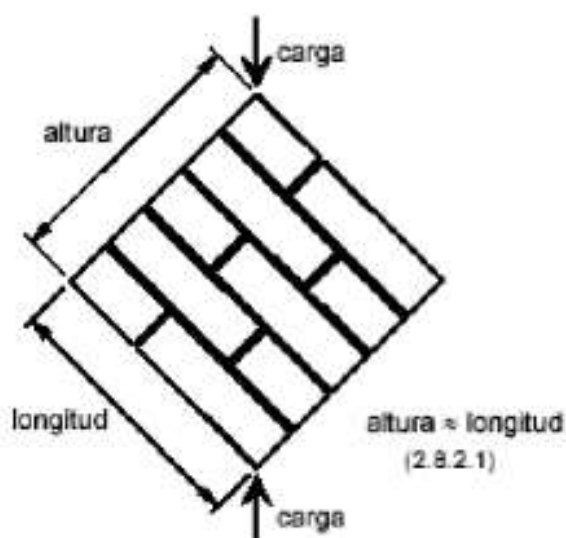


Figura 5. Esquema de murete resistencia a corte de la mampostería

Fuente: (Bravo & Flores, 2015)

Los muretes se ensayarán a los 28 días. Y la resistencia a corte se determina mediante la siguiente ecuación.

$$vm^* = \frac{\overline{vm}}{1 + 2.5C_m}$$

Ecuación 2

Donde:

vm^* : Resistencia de diseño a compresión diagonal o corte de la mampostería referida al área bruta.

\overline{vm} : Media de la resistencia a compresión diagonal o corte de los muretes.

C_m : Coeficiente de variación de la resistencia a compresión diagonal de los muretes, en ningún caso se tomará inferior a 0.20.

1.4.6.5 Módulo de elasticidad de la mampostería (E_m)

La relación existente entre las deformaciones y esfuerzos generados en la mampostería son generalmente dependientes del material que lo conforman, por tal razón no existe suficiente información experimental que pueda sustentar un procedimiento general para determinar el módulo de elasticidad de las diversas mamposterías (E_m) que se pueden construir (Crisafulli, 1997). La mampostería tiene diferentes formas de comportamiento puesto que puede ser expuesta a diferentes sollicitaciones de carga, por lo tanto, es fundamental saber interpretar el mecanismo de funcionamiento de cada uno de los materiales que componen la mampostería y estos son los especímenes de ladrillo y el mortero, una vez inferido el comportamiento del mortero junto con los ladrillos se puede determinar el módulo de elasticidad de la mampostería (E_m), puesto que no hay métodos ya estandarizados para evaluar el (E_m), se adopta el módulo secante de la curva Deformación- Esfuerzo unitario a un tercio $1/3$ de la resistencia a compresión (Crisafulli, 1997).

Por compatibilidad de deformaciones y en función de los módulos de los componentes ya mencionados anteriormente (Binda, Fontana, & Frigerio, 1988).

se tiene la siguiente expresión:

$$E_m = E_b * \frac{r + 1}{r + \frac{E_b}{E_j}}$$

Ecuación 3

Donde:

$$r = \frac{b}{j}$$

Ecuación 4

Detallando que b es la altura del ladrillo y j es el ancho de la junta del mortero, E_b y E_j son los módulos de elasticidad del ladrillo y la mampostería respectivamente (Crisafulli, 1997).

Existen una gran variedad de ecuaciones que predicen el módulo de elasticidad de la mampostería, en función de la resistencia a compresión de la mampostería.

Una de las más usadas de entre ellas es la siguiente fórmula de la norma NEC SE MP Mampostería estructural:

$$E_m = 750 * f'_m$$

Ecuación 5

1.4.6.6 Módulo de corte de la mampostería (G_m)

El módulo de corte es una constante elástica que caracteriza el cambio de forma que experimenta un material cuando se aplican esfuerzos cortantes. Al módulo de corte se lo puede denotar como (G_m), y además se lo determina a partir del módulo de elasticidad mediante las siguientes ecuaciones empíricas que fueron descritas por los siguientes investigadores (Félix & Flores, 2006).

$$G_m = 0.4 * E_m$$

Ecuación 6

1.4.7 Modos de falla de la mampostería

1.4.7.1 Falla de fricción de junta

Las primeras fallas ocurren por esfuerzos normales bajos y por lo general se los denota como falla por cortante o por fricción de cortante, esta falla ocurre por el despegue de las caras tanto del ladrillo y del mortero, generando un corte por desplazamiento a lo largo de las juntas de la mampostería (Crisafulli, 1997). Las grietas por lo general se presentan de forma escalonada como lo indica la figura (a), esto ocurre porque la resistencia de la junta de unión es baja y además influye también el relleno incompleto en juntas, muchos investigadores coligen que la falla se puede dar por despegue a lo largo de la junta superior de la muestra (Crisafulli, 1997).

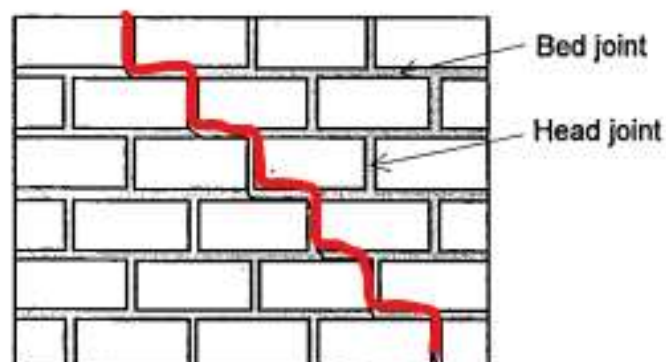


Figura 6. Falla de fricción de junta

Fuente: (Crisafulli, 1997)

1.4.7.2 Falla de tensión diagonal

Las fallas por tensión diagonal ocurren para valores en el intervalo de medios a altos de la tensión normal, por lo general ocurre por la tracción entre los ladrillos y como ya lo mencionamos esta falla la denominamos "Falla por tensión Diagonal" (Crisafulli, 1997). Se puede observar en la figura (a) que las grietas se presentan en los ladrillos con un ángulo

de inclinación que depende de la orientación en las tensiones principales en el ladrillo (Crisafulli, 1997).

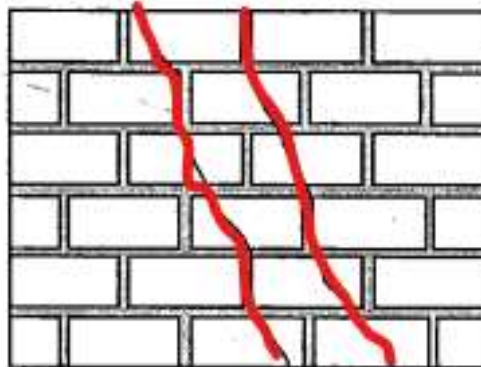


Figura 7. Falla a tensión diagonal
Fuente: (Crisafulli, 1997)

1.4.7.3 Falla a compresión

La falla por compresión ocurre por valores muy altos del esfuerzo normal, en este caso particular el fallo es igual al fallo de mampostería bajo la influencia de compresión directa, aunque el efecto de los esfuerzos cortantes causa una reducción en la resistencia a la compresión de la mampostería.

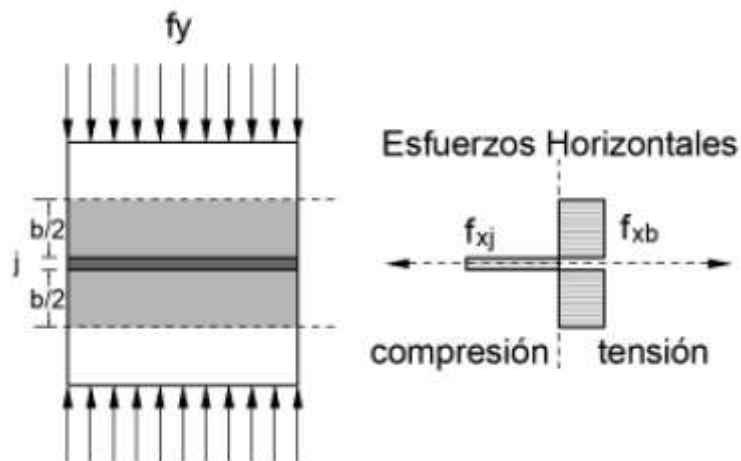


Figura 8. Falla a compresión
Fuente: (Crisafulli, 1997)

2 METODOLOGÍA

Toda investigación que propone un estudio sobre tipologías, estructuras o modelos de mampostería comparten una base, que es la caracterización de las propiedades mecánicas de los elementos que forman la mampostería y de la mampostería como tal. Por ello, es necesaria la caracterización de estas propiedades con sencillos ensayos para poder ser replicados en lugares de predominante construcción con mampostería, y más aún, en lugares que es afectada la mampostería y estructura por eventos sísmicos. Para lo cual se procederá con el muestreo y montaje de cada uno de los lotes elegidos para la investigación, seguido de una clasificación y elección de la cantidad de especímenes a ser considerados. Los ensayos primarios que se realizarán son, absorción de ladrillo, resistencia a compresión, y granulometría del material que se usará como mortero. Una vez analizados los resultados de los primeros ensayos, se procederá a la construcción de los muretes y conforme estos pasen el tiempo estimado de curación, se procederá con los respectivos ensayos de compresión y tensión diagonal, para así determinar los valores de desplazamiento que tendrán cada uno de los muretes y poder realizar finalmente el trabajo de escritorio, con el cuál se obtendrán los valores experimentales de las propiedades físicas de la mampostería.

2.1 Muestreo y montaje

El ladrillo comercializado en Chilibulo al sur de la ciudad de Quito cuenta con las siguientes características:



Figura 9. Lotes de ensayo
Fuente: elaboración propia

Ancho promedio = 14 cm

Largo promedio = 31 cm

Espesor promedio = 8 cm

Peso promedio lote = 5670 gr



Figura 10. Lotes de ensayo D
Fuente: elaboración propia

El ladrillo comercializado en Conocoto al sur oriente de la ciudad de Quito cuenta con las siguientes características:



Figura 11. Lotes de ensayo
Fuente: elaboración propia

Ancho promedio = 15 cm

Largo promedio = 33 cm

Espesor promedio = 8.5 cm

Peso promedio lote = 5900 gr



Figura 12. Lotes de ensayo E

Fuente: elaboración propia

En vista de la carencia que existe en los estudios e investigaciones referentes al análisis de módulos de elasticidad, correspondientes a los diferentes tipos de ladrillos de fabricación artesanal, se realizará el estudio técnico experimental de las propiedades mecánicas de mampostería de ladrillo artesanal de dos fábricas ubicadas en la ciudad de Quito de la parroquia de Conocoto y del barrio Chilibulo, esperando a futuro homogenizar los valores que corresponden a las propiedades mecánicas de los diferentes tipos de mampostería, con la finalidad de tener un valor estandarizado del módulo de elasticidad.

2.2 Número de lotes

El número de lotes a ser estudiados e investigados son dos, denominados con las letras D y E para mayor facilidad de distinción en futuros ensayos de laboratorios. Los lotes corresponden a la ciudad de Quito, parroquia de Conocoto, fabricas artesanales ubicadas en la antigua vía a Conocoto Av. Camilo Ponce Enríquez y Salvador allende y Av. Chilibulo sector Hospital del Sur Enrique Garcés.



Figura 13. Lotes de ensayo
Fuente: elaboración propia

2.2.1 Traslado y ubicación del ladrillo, cemento y arena

El traslado de los lotes de ladrillo se lo realizó en un camión de carga mediana de dos ejes, con el cual se pudo trasladar desde el punto de fabricación hasta la ubicación designada dentro de las instalaciones de la institución educativa, espacio designado por el centro de investigación de la vivienda “CIV”. Los ladrillos fueron cubiertos por una membrana anti fluidos “plástico negro” para evitar que este se sature por la presencia de las fuertes lluvias de temporada de invierno, y de esta forma tener los especímenes en óptimas condiciones para el uso de los diferentes ensayos en los cuales serán usados.



Figura 14. Ubicación de lotes de ladrillo
Fuente: elaboración propia



Figura 15. Ubicación de cemento
Fuente: elaboración propia

Del mismo modo se realizó la contratación de una camioneta, para poder trasladar el cemento, arena, tablas de soporte, hasta el punto destinado dentro de las instalaciones de la Escuela Politécnica Nacional. La cantidad de arena comprada y el cemento, fue guardado dentro de las instalaciones del Centro de Investigación de la Vivienda para precautelar que el cemento no se fragüe antes de ser utilizado.

2.2.2 Número de muretes a ensayarse

De acuerdo con las especificaciones técnicas analizadas en el estado del arte presentado al inicio de la investigación se coligió construir un total de veinte 20 muretes con dimensiones 70x70x18 cm, de los cuales para el lote D se ocuparán cinco muretes para ensayo a compresión y cinco para ensayo a tensión, de la misma forma se procederá con los muretes del lote E.



Figura 16. Enumeración de muretes
Fuente: elaboración propia

2.2.3 Fabricación de especímenes cúbicos de mortero

La fabricación de los especímenes cúbicos de mortero se lo realiza para poder determinar la resistencia a la compresión del mortero de pega entre las unidades de ladrillos, para lo cual se ha definido una medida estándar para el cubo de mortero, el cual consta de medidas 50x50x50 mm en todos sus lados y también la arista. Siendo la arena un elemento primordial en la fabricación de los cubos se ha seleccionado como material principal tomando en cuenta una excelente arena extraída de las minas de San Antonio de Pichicha, que fue seleccionada bajo la norma INEN 2536:2010.

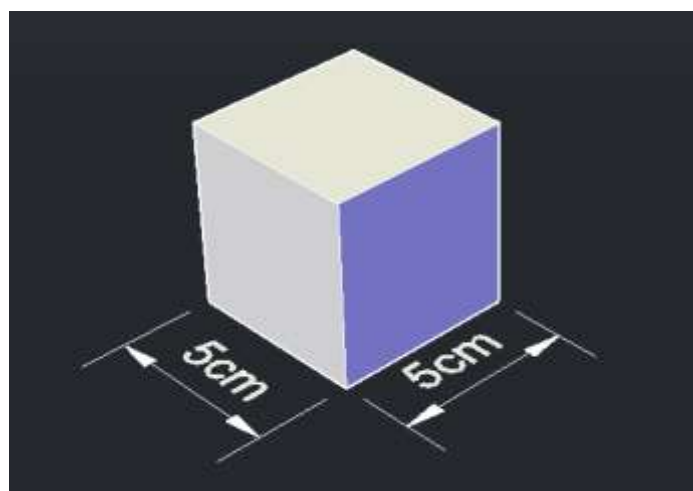


Figura 17. Esquema cubo de mortero
Fuente: elaboración propia

En cuanto a la dosificación del mortero para los cubos prismáticos se debe realizar un análisis granulométrico, detallando correctamente los gramos que pasan por cada uno de los tamices, que tienen su numeración correspondiente a 4,8,16,30,50,100,200 de los cuales, se tiene que observar y pesar la cantidad de material retenido en cada uno de ellos. Con su respectivo peso en gramos y de acuerdo con la curva granulométrica que la detallaremos en la sección de análisis y resultados, podemos asegurar que nuestro material está compuesto en mayor parte por un material arenoso, adecuado para realizar los cubos de mortero.

Adicional a esto también se detallan las características del cemento que se usó en la dosificación, la empresa Holcim Ecuador produce varios tipos de cementos en base a la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2380 misma que equivale a la ASTM C 1157, dado que en Ecuador el mayor consumo es del cemento Holcim fuerte de tipo GU, que tiene características hidráulicas para la construcción en general se tomó como base al cemento mencionado para nuestro trabajo práctico de investigación.

La dosificación usada para el mortero de pega de los muretes es la relación 1:4, que detalla la cantidad de una unidad de arena por 4 unidades de cemento.

El proceso de fabricación de los cubos fue realizado por fases, como primer paso se tuvo que realizar la mezcla en relación a la dosificación 1:4, después limpiamos los moldes metálicos y añadimos al interior del molde un lubricante (gasolina o diésel), para de esta forma poder despegar los cubos de mortero, en una primera capa de mortero este material es apisonado o en otras palabras compactado, para luego dar paso a la siguiente capa y realizar la compactación final, los cubos son curados un día en su propio molde y luego se lo sumerge en agua para que pueda tomar su resistencia a los 28 días, posterior a esto se realiza el ensayo de compresión axial es cual consiste en aplicar una carga progresiva de compresión hasta obtener la resistencia máxima admisible del mortero.

2.3 Ensayo de componentes

2.3.1 Ensayo de absorción del ladrillo

El ensayo de absorción de ladrillo está basado en la determinación de la capacidad que tiene el ladrillo para poder absorber un líquido en este caso el agua, lo cual se define como la relación entre el peso del agua que absorbe y su peso propio al momento que este seco, es decir sin saturarse. El procedimiento para este ensayo consiste en pesar las diferentes

masas de cada una de las muestras seleccionadas en los lotes, antes de sumergirlas en el agua y después de sumergirlas en el líquido para determinar la diferencia entre las dos masas, conforme a esto se determinará el valor de la absorción de humedad (NTE-INEN-296, 2015).

2.3.1.1 Equipos

- Balanza electrónica

La balanza es un instrumento de medida con una capacidad de 16 kg y arroja valores digitales con un margen de error o sensibilidad del 0.5% y utiliza la fuerza de la gravedad como un medio para comparar la fuerza que actúa sobre un cuerpo (NTE-INEN-296, 2015).



Figura 18. Balanza electrónica
Fuente: elaboración propia

- Horno de secado

El horno es un equipo de laboratorio que cumple la función de eliminar todo tipo de humedad que contiene un elemento, este tiene que estar en un rango de calor de entre 100C° y 130C° grados Celsius para eliminar de forma constante la humedad existente.



Figura 19. Horno de secado
Fuente: elaboración propia

2.3.1.2 Preparación de la muestra y procedimiento

Antes de realizar el ensayo tomamos en cuenta algunos detalles preliminares como es la toma de muestras o especímenes de las cuales debemos sacar su peso inicial y sus dimensiones como lo es el ancho, la altura y el espesor del ladrillo, sin antes olvidar la marcación de cada uno de los ladrillos artesanales con enumeraciones o prefijos que ayuden a la identificación de estos.

2.3.1.3 Saturación

Sumergir las muestras de ensayo en un tanque lleno de agua que este a una temperatura entre los 15C° y 30C° durante un lapso de 24 horas, a continuación, saque la muestra del tanque y enrolle con un cable metálico para luego sumergirla y pesarla, registre este peso como W_i (peso sumergido), retirar del agua y dejar destilar aproximadamente por 1 minuto luego de esto secar con una franela los restos de agua visibles en el ladrillo, pesar y registrar como W_s (peso saturado) (ASTM-C140-08, 2007).

2.3.1.4 Secado

Posterior a la prueba de saturación, deje secar las muestras en el horno a una temperatura entre 100C° y 130C° grados Celsius, por al menos un lapso de 24 horas, de igual manera registras y pesar las muestras como W_d (peso secado al horno) (ASTM-C140-08, 2007).

Tabla 3.
Cuadro de dosificación para morteros

LOTE D	Peso saturado	Peso secado horno
D1	7321.6	5540.5
D2	7151	5360.9
D3	7462.4	5612.3
D4	7414	5535.2
D5	7044.5	5254.7
LOTE E	Peso saturado	Peso secado horno
E1	7158.3	5451.5
E2	7069	5362.2
E3	7476.3	5769.5
E4	6892.8	5186
E5	7366.3	5659.5

Fuente: elaboración propia

2.3.1.5 Cálculos

Para determinar la absorción de la muestra se tiene la siguiente expresión en porcentaje %.

$$Absorción = \frac{Ws - Wd}{Wd} * 100$$

Ecuación 7

De donde:

Ws = peso saturado del ladrillo

Wd = peso secado al horno del ladrillo

Los resultados obtenidos de cada una de las cinco muestras del lote en investigación dan como resultado final el promedio en porcentaje de la absorción de humedad del lote ensayado (NTE-INEN-296, 2015).

2.3.2 Ensayo de compresión de ladrillo (f'b)

Este procedimiento tiene como objetivo discretizar de manera explícita la metodología que se requiere para poder determinar la resistencia a compresión del ladrillo artesanal. El proceso contiene ladrillos sólidos cocidos en hornos artesanales.

2.3.2.1 Equipos

- Máquina de compresión

Se puede usar cualquier tipo de maquinaria de compresión que contenga un plato con una rótula de característica esférica, tomando en cuenta que los apoyos tengan siempre dimensiones superiores a los elementos de muestra, para la investigación presente se usarán los equipos provistos en el laboratorio de ensayos de materiales, mecánica de suelos y rocas (LEMSUR) bajo la supervisión de un profesional capacitado para realizar dichos ensayos.

2.3.2.2 Preparación de la muestra

Si se utiliza unidades de ladrillos ya sean estos macizos o semi-macizos, los especímenes de prueba deben estar absolutamente secos y adicionalmente deben cumplir con las dimensiones completas de ancho, altura, espesor.

Tabla 4.

Cuadro de propiedades longitudinales de ladrillo

LOTE D	ANCHO	LARGO	ESPEJOR
D1	13.7	31	8
D2	13.7	31.2	8
D3	13.9	30.9	7.6
D4	14.2	30.7	7.7
D5	14.1	31.3	7.8
LOTE E	ANCHO	LARGO	ESPEJOR
E1	15.1	33.5	8.6
E2	14.7	33.1	8.4
E3	14.6	32.8	8.5
E4	15.2	33.1	8.5
E5	14.9	33	8.3

Fuente: elaboración propia

Las muestras de ladrillos sean perforadas o de cualquier tipo, en este caso macizas deben ser unidades completas, pero se hizo una excepción en la investigación debido a que el equipo de ensayo no cumple con los parámetros establecidos, por lo tanto, para el ensayo se usó la mitad de la unidad del ladrillo con su respectivo refrentado.

Dado que ninguno de los especímenes tiene un buen aspecto de terminado y por lo tanto tiene la presencia de muchas irregularidades en su conformación es recomendable proporcionarle una capa de recubrimiento a las cara inferior y superior del ladrillo según como indica la Norma NTE INEN 3049-5.



Figura 20. Muestra de ladrillo refrentado
Fuente: elaboración propia

2.3.2.3 Material para refrentado

Siendo este el caso, utilizaremos materiales para mortero de cemento hidráulico:

- Cemento hidráulico que cumpla con la Norma NTE INEN 2380.
- Una arena fina que cumpla con todas las características físicas y mecánicas la cual facilite una adecuada elaboración de mortero que adicionalmente obtenga una resistencia de 24 MPa al momento del ensayo de compresión (NTE-INEN-2619, 2012).
- Es permitido la adición de aditivos para poder reducir la relación agua-cemento (NTE-INEN-2619, 2012).

2.3.2.4 Procedimiento

- Para la preparación de especímenes a ser refrentados se utilizará una piedra muy abrasiva con el cual se eliminará todo tipo de protuberancias existentes en la superficie del ladrillo (NTE-INEN-2619, 2012).
- Refrentar las caras de apoyo inferior y superior del ladrillo haciendo uso del método de refrentado con mortero de cemento hidráulico (NTE-INEN-2619, 2012).
- Colocar una fina capa de mortero de cemento sobre la superficie del ladrillo y distribuirlo de manera uniforme, suavemente presionar la capa de mortero sobre el ladrillo y verificar que este nivelado y alineado usando un nivel de burbuja, repetir este proceso en la cara opuesta del ladrillo (NTE-INEN-2619, 2012).
- Ubicar a los ladrillos en un cuarto húmedo para que pueda cumplir con los requisitos de curado bajo la norma NTE INEN 2528 y mantenerlo así hasta la edad de ensayo que es los 10 días previamente determinada (NTE-INEN-2619, 2012).
- El espesor del refrentado no debe exceder los 3 mm de espesor.

2.3.2.5 Cálculos

La resistencia a compresión del ladrillo se la calcula con una fórmula muy sencilla que esta descrita a continuación:

$$C = \frac{P}{S}$$

Ecuación 8

De donde:

C = Resistencia a compresión en MPa.

P = Carga de rotura en Newtones.

S = Área bruta de la cara de contacto en mm².

2.3.3 Determinación de la resistencia a la compresión (f'j) alcanzada del mortero de pega a los 28 días

La norma técnica ecuatoriana establece el método de ensayo para la determinación de la resistencia a la compresión de morteros elaborados con cemento hidráulico, haciendo uso de cubos de mortero con una arista de 5 cm (NTE-INEN-488, 2009).

2.3.3.1 Equipos

- Masas y Balanzas

Estrictamente debe cumplir con la norma ASTM C 1005, dicha balanza tiene que ser evaluada para una precisión y desviación bajo una carga total de 2000 g.

- Probetas de vidrio

Deben tener el suficiente espacio para poder mezclar y medir el líquido en una sola operación y suministrar el volumen indicado bajo una precisión de entre ± 2 cm³ y a una temperatura de 20 °C (NTE-INEN-488, 2009).

- Moldes para usar

Los moldes deben cumplir características eficientes para el buen desarrollo del ensayo, es decir los moldes deben ser de un material muy duro como lo es el metal para evitar deformaciones o alveos, y asegurar unas paredes bien rígidas con caras interiores lo suficientemente planas (NTE-INEN-488, 2009).

Tabla 5.
Variaciones permisibles en moldes para especímenes

PARÁMETRO	MOLDES CÚBICOS DE 50 mm DE ARISTA	
	NUEVOS	EN USO
Lisura de los lados	< 0,025 mm	< 0,05 mm
Distancia entre lados opuestos	50 mm ± 0,13 mm	50 mm ± 0,50 mm
Altura de cada compartimento	50 mm + 0,25 mm a – 0,13 mm	50 mm + 0,25 mm a – 0,38 mm
Ángulo entre caras adyacentes ^A	90 ± 0,5°	90 ± 0,5°
^A Medido en puntos ligeramente separados de la intersección. Medidos separadamente para cada compartimento entre todas las caras interiores y caras adyacentes y entre las caras interiores y los planos superior e inferior del molde.		

Fuente: (NTE-INEN-488, 2009)

- Mezcladora, tazón y paleta

La mezcladora debe estar conformada con su respectiva paleta y tazón y debe cumplir con los requisitos mencionados en la NTE INEN 155 (NTE-INEN-488, 2009).

- Pisón

El pisón tiene que ser un material con características similares al caucho que aseguren la impermeabilidad, sus medidas de sección transversal al menos tienen que ser de 13mm a 25 mm y una longitud de 120mm a 150 mm, adicional a esto la superficie de apisonar tiene que ser plana y perpendicular a la sección longitudinal.

- Espátula

La medida de la espátula debe bordear los 100 mm a 150 mm de longitud con filos rectos.

- Máquina de Ensayo

La máquina de ensayo debe ser uno de características hidráulicas con una abertura lo suficientemente grande para poder abarcar los especímenes de muestra, en este caso los cubos de mortero a ser ensayados, la carga a ser aplicada debe tener un margen de error de ± 1%, tomando en cuenta que si el visor de marcación es digital tiene que ser lo suficientemente grande para poder divisar de mejor manera y con exactitud la numeración indicada, además hay que tomar precaución al realizar los ajustes que indican el verdadero cero a una carga cero (NTE-INEN-488, 2009).

2.3.3.2 Materiales

La arena para usar debe ser un árido con características normalizadas y graduada según la norma NTE INEN 873.

2.3.3.3 Preparación moldes para especímenes

Para realizar el ensayo se tiene que fabricar 2 o 3 especímenes cúbicos por cada ciclo de ensayo, para este trabajo de investigación es a los 28 días. Todas las paredes interiores del cubo metálico deben ser cubiertas por un agente desencofrante, puede este agente ser aceite, diésel, gasolina por seguridad hay que usar guantes de plástico y un paño con el cual podemos trabajar y dejar en óptimas condiciones los cubos metálicos. A la placa base de igual manera hay que ponerle un impermeabilizante y este puede ser parafina o resina, en una composición de 3:5 de parafina y resina respectivamente, para lograr esta composición hay que calentar a 110°C y 120°C a los compuestos mencionados y luego licuarlos.

2.3.3.4 Preparación especímenes de ensayo

La proporción de la composición de los morteros en masa de los materiales secos a utilizar debe ser 1 parte de cemento por 2.75 partes de arena normalizada, de igual manera la relación agua cemento es de 0.485 para todos los cementos portland. El mazado del mortero se lo realiza de manera mecánica bajo la norma y el procedimiento descrito NTE INEN 155.

Tabla 6.
Cuadro de dosificación para morteros

MATERIAL	NÚMERO DE ESPECÍMENES	
	6	9
Cemento, g	500	740
Arena, g	1375	2035
Agua, cm ³		
Portland(a/c=0.485)	242	359
Portland con incorporador de aire (a/c=0.460)	230	340
otros (para un flujo de 110 ±5)

Fuente: elaboración propia con base a NTE INEN 155



Figura 21. Equipo de ensayo
Fuente: elaboración propia

2.3.3.5 Procedimiento

- Determinar la fluidez conforme la norma NTE INEN 2 502.
- Compactar el mortero en los moldes por apisonamiento manual.
- Llenar los moldes dentro de un intervalo de tiempo comprendido entre los 30 segundos y 120 segundos después de haber realizado el amasado de la primera mezcla.
- Colocar la primera capa de mortero con un espesor de 25mm y apisonar el mortero 32 veces en cada compartimento cúbico en un lapso de 10 segundos.
- Las 32 veces de apisonamiento hay que hacerla en 4 ciclos y los golpes tienen que ser perpendiculares a la dirección de aplastamiento.
- Una vez realizado la primera capa se da inicio a la segunda capa tomando en cuenta las mismas referencias de los dos pasos anteriores.
- Retirar el mortero que haya rebosado en los filos de los bordes del molde, esto se lo realiza con una espátula.
- Culminado el proceso de moldeo, colocar el espécimen de ensayo en la cámara de curado.
- Realizar el ensayo de acuerdo con la siguiente tabla

Tabla 7.
Tolerancia admisible para la edad de ensayo de cubos

Edad de ensayo	Tolerancia admisible
24 horas	± ½ hora
3 días	± 1 hora
7 días	± 3 horas
28 días	± 12 horas

Fuente: NTE INEN 155

- Al momento que retiramos del agua los especímenes de ensayo se debe mantenerlos a una temperatura de ± 23°C antes de ser ensayados.
- Secar y eliminar todo tipo de irregularidad presentadas en las caras que van a ser expuestas al ensayo, de a ver una irregularidad de tipo curva hay que esmerilar la superficie para obtener una cara lisa y en óptimas condiciones de ensayo.
- Colocar cuidadosamente la muestra de ensayo bajo el cabezal de apoyo superior con la finalidad de que la carga se aplique a las dos caras.
- Aplicar la carga en la primera parte a una velocidad de 900 a 1800 N/s.
- Registrar la carga máxima indicada por la máquina de ensayo.

2.3.3.6 Cálculos

La siguiente ecuación es la que nos ayuda a calcular la resistencia a compresión del cubo de mortero de 5 cm a los 28 días.

$$f_m = \frac{P}{A}$$

Ecuación 9

De donde:

f_m = resistencia a compresión en MPa

P = Carga total de falla en N

A = Área de la sección transversal del cubo mm²

2.4 Ensayo de especímenes

2.4.1 Ensayo de compresión en muretes (F'M)

Los muretes de mampostería fueron construidos y ensayados usando como guía los lineamientos de la norma ASTM C1314-16 en el laboratorio del CIV de la EPN. Se construyeron un total de 20 muretes de 70x70cm.

2.4.1.1 Fabricación de muretes

El proceso de fabricación de muretes se inició con la preparación de los componentes de la mampostería que son la arena, cemento, agua, y el ladrillo, mismos que medían 70x70cm, se construyeron 20 muretes que se usaron para los ensayos de compresión y tensión diagonal, para todo este proceso se usó de guía la norma ASTM C1314-16.

Los muretes construidos se observan en la siguiente figura.



Figura 22. Construcción de muretes 70x70cm

Fuente: elaboración propia

Para la elaboración de muretes de mampostería de ladrillo, se inicia trasladando a los ladrillos al puesto de trabajo para que se facilite el armado de esta, el montaje y fabricación se la realizó con mano de obra no técnicamente calificada, pero si con muchos conocimientos de albañilería y adicional a esto la experiencia e investigación por parte del señor estudiante, quien construyó los muretes para luego ser ensayados en el laboratorio del Centro de Investigación de la Vivienda, tomando en cuenta las sugerencias y recomendaciones de los profesores tutores del Trabajo de Investigación Curricular.

Pasos para seguir la elaboración de los muretes:

- Se usó 14 ladrillos para un área de 0.49 m²,
- La dosificación es la relación 1:4, es decir una de arena por 4 de cemento para pegar los ladrillos.
- Tener listos los tableros de apoyo para los muretes, se recomienda una base de madera con dimensiones 80cm x 15 cm y 3 apoyos bajo el tablero ubicados en los extremos y en el centro.
- Se recomienda realizar el paso anterior para mayor facilidad de traslado de los muretes hacia el lugar de ensayo.
- Se procede a realizar el mortero con la dosificación 1:4 anteriormente calculada.
- A la vez también se saturan los ladrillos en recipientes muy amplios, puede ser este un balde de 50 L.

- Se cubre la base de madera con la primera capa de mortero que tiene un espesor de 1,5 cm.
- Se coloca la primera hilada de ladrillos.
- Procedemos al revocado de las juntas verticales en los ladrillos.
- Los dos anteriores procesos se los repite una y otra vez hasta alcanzar la altura adecuada de 70cm.
- Antes de finalizar el proceso y para tener un mejor acabado en las uniones del mortero de pasa una esponja remojada para así tener un terminado visualmente atractivo.
- Finalmente, antes de ser ensayos los muretes se tienen que realizar la respectiva curación del espécimen, es decir se debe hidratar a los muretes cada 3 días para que tenga un excelente curado o fraguado de mortero.
- Mientras dura el proceso de curado, deben mantenerse cubiertos con una membrana plástica para conservar la humedad de los muretes.

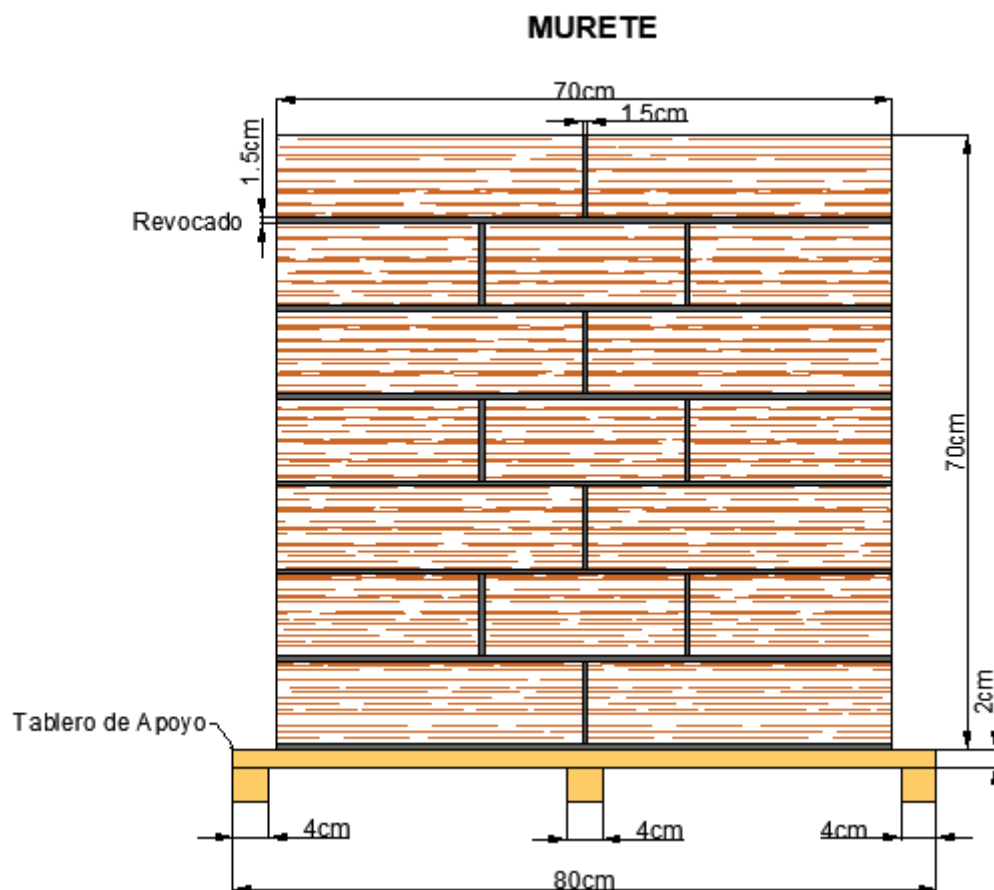


Figura 23. Esquema de murete y detalles constructivos
Fuente: elaboración propia

2.4.1.2 Curado de muretes

El curado de los muretes se lo realizó mediante el uso de una membrana plástica, que ayuda a retener la humedad del murete construido, y de esta forma asegurar un buen curado, se realizó este procedimiento debido a que los muretes se hallaban a la intemperie y además se la tenía que hidratar cada tres días hasta que cumpla los 28 días de curado o fraguado.



Figura 24. Curado de muretes

Fuente: elaboración propia

2.4.1.3 Refrentado de muretes

Una vez cumplido los 28 días de curado, los muretes fueron sometidos al siguiente proceso de trabajo, el cual fue realizar el refrentado de las caras que van a ser expuestas a las cargas de aplicación directa.

Si se utiliza unidades de ladrillos ya sean estos macizos o semi-macizos, los especímenes de prueba deben estar absolutamente secos y adicionalmente deben cumplir con las dimensiones completas de ancho, altura, espesor. Dado que ninguno de los especímenes tiene un buen aspecto de terminado y por lo tanto tiene la presencia de muchas irregularidades en su conformación es recomendable proporcionarle una capa de recubrimiento a las caras inferior y superior del murete según como indica la Norma NTE INEN 3049-5.

2.4.1.4 Máquina de ensayo

La máquina de ensayo es un marco de carga que se encuentra ubicado en el centro de investigación de la vivienda, el mismo que se encuentra empotrado al piso para brindar mayor seguridad al momento de realizar los ensayos, está conformado por una viga de

apoyo, gato hidráulico, y la celda de carga, mismos que ejercen un trabajo máximo de hasta 50 toneladas, caso contrario se vuelve inestable la misma y no asegura un buen funcionamiento de ensayos a compresión directa.

2.4.1.5 Dispositivos de medición

El dispositivo de medición que se usará para los ensayos es el LVDT, aparato que sirve para realizar mediciones de desplazamiento, con una sensibilidad al contacto de hasta 0.01 mm.

Sus principales características son:

- Buena linealidad para una amplia gama de impedancia de carga.
- El dispositivo es altamente preciso
- Alta resolución a la salida de datos
- Dispositivo de fácil instalación y una vida útil larga

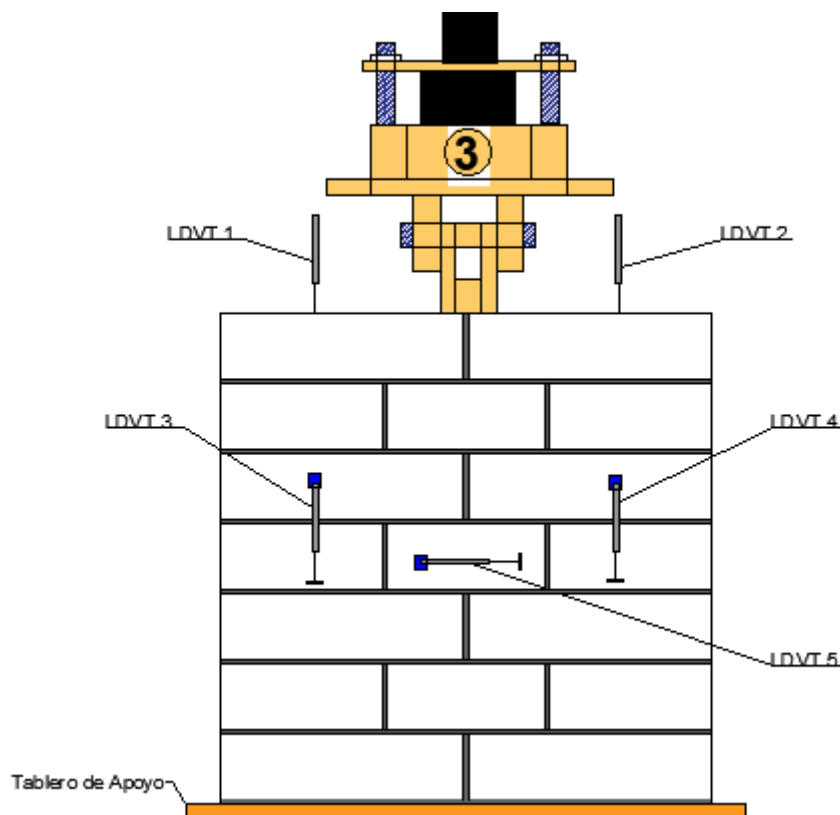


Figura 25. Esquema de dispositivos de medición LVDTs ensayo compresión
Fuente: elaboración propia

2.4.1.6 Procedimiento

- Como primer paso hay que trasladar a los muretes de donde se encuentran hasta el interior del laboratorio de ensayo, se recomienda que para mayor facilidad y buen manejo del murete usar un coche metálico para transportar los especímenes de ladrillo.
- Una vez descargados las muestras de ensayo, procedemos a calibrar el marco de carga, es decir poner a nivel y a la altura deseada el gato hidráulico y la celda de carga. Para lo cual se usa un nivel de burbuja, junto con unas llaves mecánicas.
- El siguiente paso es fabricar unas placas en forma de C con medidas de 2,5x6x2.5 cm, para poder anclar los LVDTs en ellas y así tomar el registro de datos que nos proporciona el medidor de desplazamientos. De preferencia comprar un perfil C laminado en aluminio y cortar a las medidas requeridas.
- Realizar el protocolo de ensayo a compresión para proceder al ensayo.
- Se trasladó los muretes hasta el marco de carga con ayuda de la grúa mecánica haciendo uso de unas fajas para mayor movilidad y traslado.
- Se niveló la muestra en sentido horizontal y vertical para poder apoyar la celda de carga.
- Ya nivelado todo y una vez aprobado el protocolo de ensayo, se colocó los instrumentos de medida LVDTs en las posiciones mostradas en el gráfico correspondiente a ensayo a compresión.
- Se marcó con una señal distintiva a cada uno de los muretes, para identificar y tomar datos de este.
- Se inició con el ensayo aplicando una carga monocíclica, con un tiempo estimado de 15 minutos por ensayo.
- Se detuvo el ensayo al momento que se visualizó las fisuras, para de esta forma tomar los datos al momento exacto de la aplicación de la carga máxima.
- Se procedió a retirar los restos de fragmentos rotos del murete para dar paso al siguiente.
- Finalmente se anotó los datos de carga máxima del ensayo a compresión en la hoja de registro y se continuó con el siguiente murete.

2.4.1.7 Cálculos

La diferencia de módulo de Poisson entre los dos materiales que componen la mampostería hace que, bajo una misma sollicitación de carga, estos se encuentren en diferentes estados tensionales (Pachano, 2018).

El valor de la resistencia a compresión en esta norma está referido a los 28 días, si se considera que el muro recibirá las acciones de diseño antes de este lapso, se deberá evaluar la resistencia para el tiempo estimado (Bravo & Flores, 2015).

A continuación, se detalla cómo realizar el ensayo, para determinar la resistencia a compresión de la mampostería.

Se debe realizar el ensayo de muretes construidos como se muestra en la figura 25 con las piezas y mortero que se utilizarán en la obra (Bravo & Flores, 2015). Este murete será ensayado a los 28 días después de ser construido.

La resistencia a la compresión de la mampostería se calcula con la siguiente expresión dada por (Bravo & Flores, 2015).

$$f_m^* = \frac{\overline{f_m}}{1 + 2.5C_m}$$

Ecuación 10

Donde:

f_m^* : Resistencia de diseño a compresión de la mampostería referente al área bruta

$\overline{f_m}$: Media de la resistencia a compresión de los muretes corregido por su relación altura-espesor.

C_m : coeficiente de la variación de la resistencia a compresión de los muretes de mampostería, en ningún caso se toma inferior a 0.15

2.4.2 Ensayo de tensión diagonal (corte) en muretes (T_m)

Los ensayos de tensión diagonal fueron realizados en el laboratorio del CIV de la EPN de acuerdo con los lineamientos de la norma ASTM E519/E519M-15, los muretes fueron construidos al mismo tiempo que los que usamos para el ensayo a compresión.

2.4.2.1 Fabricación de muretes

Los muretes de mampostería de ladrillo fueron construidos bajo la norma ASTM C1314-16, siguiendo todos los lineamientos al pie de la letra, a la vez recalcar que fueron construidos por el autor de este TIC, ya que realizar un murete de 70x70 cm no es de gran dificultad y la mano de obra es calificada porque el autor tiene amplio conocimiento de la construcción y además fue supervisado por los ingenieros del centro de investigación de la vivienda. Se construyeron un total de 20 muretes de los cuales 10 son del lote D y 10 del lote E, de acuerdo con las especificaciones de cada lote, 5 de los muretes son para ensayo de compresión y 5 para ensayo de tensión diagonal.

Las especificaciones de la norma ASTM sugiere que se construyan especímenes de 120 cm de lado, pero también menciona que se pueden hacer más pequeños para propósitos de investigación y cabe decir que así se lo realizó cuando se construyó 10 elementos para ensayo de compresión diagonal, debido al gran peso que influye construir un elemento de 120cm de lado, se acordó elaborar muestras de muretes de 70cm de lado, para facilitar el movimiento y posterior traslado.

2.4.2.2 Curado y refrentado de muretes

El curado de los muretes se lo realizó mediante el uso de una membrana plástica que ayuda a retener la humedad del murete construido, y de esta forma asegurar un buen curado, se realizó este procedimiento debido a que los muretes se encontraban a la intemperie y además se los tenía que hidratar cada tres días hasta que cumpla los 28 días de curado o fraguado.

Una vez cumplido los 28 días de curado, los muretes fueron sometidos al siguiente proceso de trabajo, el cual fue realizar el refrentado de las esquinas diagonales en donde van a ser colocadas la celda de carga y el gato hidráulico.

2.4.2.3 Máquina de ensayo

La máquina de ensayo es la misma que se usó para el ensayo a la resistencia de compresión, misma que fue descrita en el numeral 2.4.1.4, donde explica el funcionamiento de la máquina de ensayo.

2.4.2.4 Procedimiento

Los pasos por seguir en el procedimiento son los mismos que se describen en el numeral 2.4.1.6, la única diferencia es la posición del murete, es decir tiene que ser colocado de forma diagonal y no horizontal como en el procedimiento anterior.

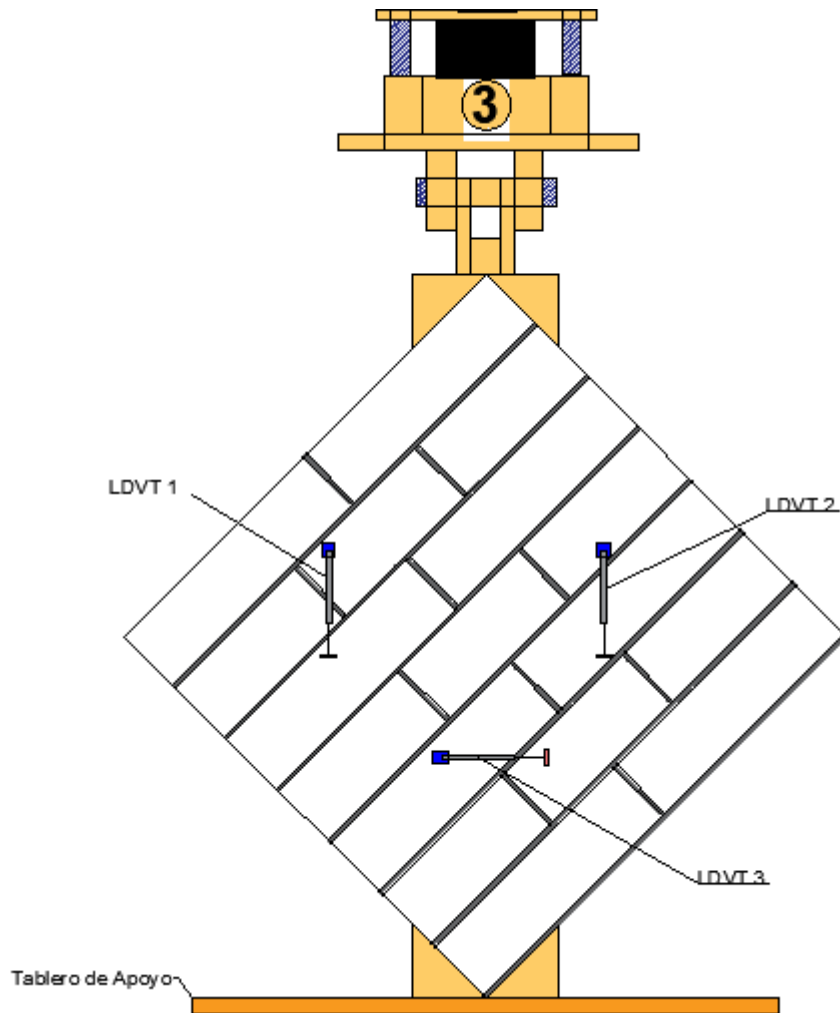


Figura 26. Esquema de dispositivos de medición LVDTs ensayo tensión
Fuente: elaboración propia

2.4.2.5 Dispositivo de medición

El dispositivo de medición para el ensayo de tensión diagonal es el mismo que se usó en el ensayo de resistencia a la compresión y está descrito en el numeral 1.4.4 con el cual podemos medir las deformaciones que se generan al momento de ensayar los muretes de forma diagonal.

2.4.2.6 Cálculos

Para determinar la resistencia a corte o compresión diagonal de la mampostería se lo realizará con el procedimiento que se indica a continuación (Binda, Fontana, & Frigerio, 1988).

El ensayo se realizó con muretes construidos de ladrillos y el mortero preparado en obra. Los muretes tuvieron una longitud de 70x70xcm y el número de hileras necesarias para

que la altura sea aproximadamente a la longitud como se muestra en la figura 13, estos muretes se ensayaron sometiénolas a cargas de compresión monótonas a lo largo de la diagonal, y el esfuerzo a corte medio se determinó dividiendo para la carga máxima entre el área bruta del murete medido sobre la misma diagonal (Ferrero, 2021)..

Los muretes se ensayaron a los 28 días. Y la resistencia a corte se determinó mediante la siguiente ecuación (Bravo & Flores, 2015).

$$vm^* = \frac{\overline{vm}}{1 + 2.5C_m}$$

Ecuación 11

Donde:

vm^* : Resistencia de diseño a compresión diagonal o corte de la mampostería referida al área bruta.

\overline{vm} : Media de la resistencia a compresión diagonal o corte de los muretes.

C_m : Coeficiente de variación de la resistencia a compresión diagonal de los muretes, en ningún caso se tomará inferior a 0.20.

3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1 Tratamiento estadístico de datos

Al obtener los datos experimentales podemos encontrarnos con datos atípicos, esto quiere decir que existan valores muy dispersos, los cuales impiden obtener conclusiones definitivas. Para solventar este inconveniente se usará la norma (ASTM E178-16, 2016) el cual describe el proceso de eliminación de valores atípicos, una vez identificados estos valores, bajo un criterio de muestreo se los debe retener o rechazar (ASTM E178-16, 2016).

Proceso de selección de valores atípicos:

Calcular la desviación estándar de todo el conjunto de datos incluidos los valores atípicos.

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (x_i - \bar{x})^2}$$

Ecuación 12

Para un máximo y mínimo valor de las observaciones es indispensable determinar un criterio de prueba determinado "Tn".

$$Tn = \frac{|x_n - \bar{x}|}{s}$$

Ecuación 13

De donde:

\bar{x} = Media aritmética de todos los n valores

s = Desviación estándar

El valor crítico "T" se la determina en función del número de observaciones y el nivel de significancia con el que se desee trabajar, el valor crítico se la debe tomar de la tabla 8.

Tabla 8.
Critical values for standard deviation

Number of Observations, <i>n</i>	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

3.1.1 Resultados de análisis granulométrico

El análisis granulométrico es el primer paso por seguir para poder determinar la dosificación del mortero para ello se ha tomado como guía la norma ASTM C1314 con el cual se trabajó y se obtuvo los siguientes resultados después de un tratamiento de datos.

Tabla 9.
Resultados de análisis granulométrico

TAMIZ No.	TAMAÑO ABERTURA	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PORCENTAJE ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	LÍMITE SUPERIOR	LÍMITE INFERIOR
	(mm)	(g)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
	10					100	100
No. 4	4.750	0.0	0.0	0.0	100.0	100	95.0
No. 8	2.360	8.7	2.9	2.9	97.1	100	80
No. 16	1.180	62.1	20.7	23.6	76.4	85	50
No. 30	0.600	85.1	28.4	51.9	48.1	60	25
No. 50	0.300	82.8	27.6	79.5	20.5	30	10
No. 100	0.150	46.0	15.3	94.9	5.1	10	2
No. 200	0.075	14.2	4.7	99.6	0.4	5	0
BANDEJA	-	1.2	0.4	100.0	0.0		
	TOTAL	300.1					

Fuente: elaboración propia

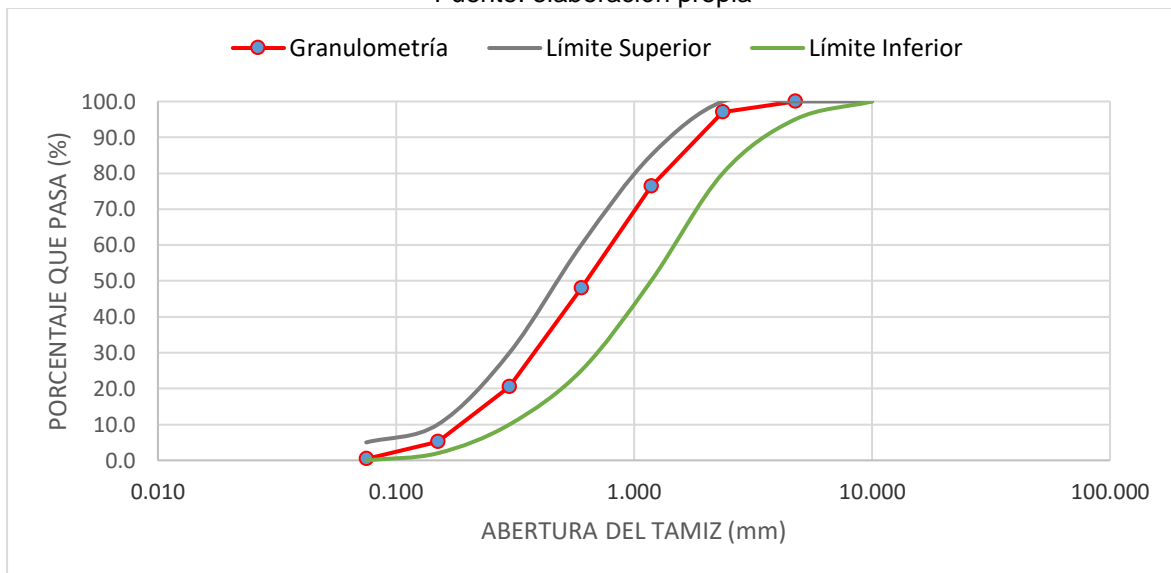


Figura 27. Curva granulométrica
Fuente: elaboración propia

De acuerdo con el análisis granulométrico podemos asegurar que nuestra muestra está contenida en su mayoría por limos y finos.

3.1.2 Absorción de ladrillos

El ensayo fue realizado en el laboratorio de materiales, suelos y rocas (LEMSUR), a continuación, se presenta la tabla de resultados.

Tabla 10.
Resultados del ensayo de absorción de ladrillo

No.	IDENTIFICACION	MASA SATURADA	MASA SECA	ABSORCION
		(g)	(g)	(%)
1	D1	7224.7	5540.5	30.40
2	D2	7158.3	5360.9	33.50
3	D3	6961.0	5651.6	23.20
4	D4	7414.0	5582.4	32.80
5	D5	7044.3	5586.9	26.10
			PROMEDIO	29.20
			DESV. ESTANDAR	3.96

Fuente: elaboración propia

Los resultados arrojan un valor promedio de 29.20% en porcentaje de saturación promedio del lote D respecto a cada una de las muestras, valor que sobrepasa al porcentaje máximo de humedad establecido en la norma NTE INEN 293 que es del 15% con lo cual podemos asegurar que estos ladrillos no son aptos para uso estructural.

3.1.3 Resistencia a compresión de cubos de mortero

El ensayo de compresión cúbica de mortero se lo realizó en el laboratorio de ensayo de materiales, suelos y rocas (LEMSUR), a continuación, se presenta la tabla de resultados.

Tabla 11.
Resultados del ensayo de compresión de cubos de mortero

N°	FECHA FÁBRICA	DESCRIPCION	FECHA ROTURA	EDAD	PESO	CARGA	CARGA	ESFUERZO	ESFUERZO
				(días)	(g)	(T)	(kN)	(kg / cm ²)	(MPa)
1	2022-02-08	EP 1	2022-03-03	23	254.5	1.20	11.78	47	4.6
2	2022-02-08	EP 2	2022-03-03	23	257	1.23	12.04	48	4.7
3	2022-02-08	EP 3	2022-03-03	23	254.8	1.21	12	48	4.7
4	2022-02-08	EP 4	2022-03-03	23	259.1	1.07	10.53	42	4.1
5	2022-02-08	EP 5	2022-03-03	23	260.5	1.24	12.12	48	4.7
6	2022-02-08	EP 6	2022-03-03	23	261.2	1.36	13.31	53	5.2
7	2022-02-08	EP 7	2022-03-03	23	264.8	1.26	12.37	48	4.7
6	2022-02-08	EP 6	2022-03-03	23	262.5	1.27	12.46	48	4.7
9	2022-02-08	EP 9	2022-03-03	23	270.2	1.22	11.97	46	4.5
								DESV.ESTANDAR	0.3
								PROMEDIO	4.7

Fuente: elaboración propia

Para la obtención del esfuerzo a compresión del mortero de cemento se usó la siguiente ecuación. Teniendo como resultado un promedio de 4.7 MPa y una desviación estándar de 0.3 al finalizar el ensayo de las nueve muestras. Se define a este mortero como uno de clase A debido a que tiene una dosificación mínima de agua el cual hace que la resistencia del mortero se eleve.

$$f_m = \frac{P}{A}$$

Ecuación 14

De acuerdo la norma (ASTM E178-16, 2016) se realiza el estudio estadístico del ensayo resistencia a compresión de cubos de mortero, para de esta manera discretizar los valores y obtener mejores resultados junto a conclusiones confiables que aseguran el buen trabajo de investigación.

Tabla 12.
Resultado análisis estadístico de compresión cúbica de mortero

N°	ESFUERZO	Tn	T	Conclusión
	(MPa)			
1	4.7	0.372	1.977	V. ACEPTADO
2	4.8	0.017		V. ACEPTADO
3	4.8	0.222		V. ACEPTADO
4	4.2	2.082		V. ATÍPICO
5	4.8	0.093		V. ACEPTADO
6	5.3	1.720		V. ACEPTADO
7	4.9	0.435		V. ACEPTADO
8	5.0	0.558		V. ACEPTADO
9	4.8	0.112		V. ACEPTADO
Promedio	4.8			
Desv.Estandar	0.29			

Fuente: elaboración propia

Una vez realizado el análisis estadístico se colige que existe un valor atípico relacionado al cubo número 4, por el cual los datos no son tan confiables y se procede a realizar nuevamente el análisis eliminando el valor atípico.

Tabla 13.
Resultado al eliminar valores atípicos de compresión cúbica de mortero

N°	ESFUERZO	Tn	T	Conclusión
	(MPa)			
1	4.7	0.372	1.977	V. ACEPTADO
2	4.8	0.017		V. ACEPTADO
3	4.8	0.222		V. ACEPTADO
4				
5	4.8	0.093		V. ACEPTADO
6	5.3	1.720		V. ACEPTADO
7	4.9	0.435		V. ACEPTADO
8	5.0	0.558		V. ACEPTADO
9	4.8	0.112		V. ACEPTADO
Promedio	4.9			
Desv.Estandar	0.20			

Fuente: elaboración propia

Eliminado el valor atípico del análisis tenemos como resultado un promedio de esfuerzo de 4.9 MPa, que nos asegura un valor confiable en la investigación realizada.

3.1.4 Resistencia a compresión de ladrillos

Este procedimiento tiene como objetivo discretizar de manera explícita la metodología que se requiere para poder determinar la resistencia a compresión del ladrillo artesanal.

Tabla 14.
Resultados del ensayo a compresión de ladrillos lote D

No.	DESCRIPCION	CARA SUPERIOR		CARA INFERIOR		ALTO (cm)	PESO ESPECÍFICO (g/cm ³)	AREA PROMEDIO (cm ²)	CARGA RO TURA (kN)	ESFUERZO (MPa)
		LARGO	ANCHO	LARGO	ANCHO					
		(cm)	(cm)	(cm)	(cm)					
1	D1	16.5	14.8	18.6	14.7	7.5	1.97	244.11	67.00	2.74
2	D2	16.6	14.7	16.7	14.9	7.5	1.89	246.43	63.30	2.57
3	D3	16.7	14.9	16.6	14.9	7.6	1.96	248.09	71.80	2.89
4	D4	16.5	14.7	16.7	14.8	7.6	1.95	244.86	40.60	1.66
5	D5	16.8	15.0	16.6	14.7	7.7	1.91	248.01	35.90	1.45

Fuente: elaboración propia

El valor promedio de la resistencia a compresión es 2.26 MPa, con este resultado y el valor de la resistencia a compresión del mortero se trabajará para medir el valor promedio de la resistencia a compresión del murete.

Tabla 15.
Resultados del ensayo a compresión de ladrillos lote E

No.	DESCRIPCION	CARA SUPERIOR		CARA INFERIOR		ALTO (cm)	PESO ESPECÍFICO (g/cm ³)	AREA PROMEDIO (cm ²)	CARGA RO TURA (kN)	ESFUERZO (MPa)
		LARGO	ANCHO	LARGO	ANCHO					
		(cm)	(cm)	(cm)	(cm)					
1	E1	16.9	15.0	16.8	14.8	7.5	1.92	251.07	36.50	1.45
2	E2	16.8	14.8	16.8	14.6	7.6	1.88	248.96	63.10	2.56
3	E3	18.8	14.7	16.6	14.8	7.7	2.00	244.85	32.70	1.34
4	E4	16.8	14.8	16.7	14.7	7.7	1.78	247.07	35.20	1.42
5	E5	16.6	14.6	16.6	14.8	7.6	1.98	244.02	33.70	1.38

Fuente: elaboración propia

El valor promedio de la resistencia a compresión es 1.63 MPa, con este resultado y el valor de la resistencia a compresión del mortero se trabajará para medir el valor promedio de la resistencia a compresión del murete.

De acuerdo la norma (ASTM E178-16, 2016) se realiza el estudio estadístico del ensayo resistencia a compresión de ladrillos, para de esta manera discretizar los valores y obtener mejores resultados junto a conclusiones confiables que aseguran el buen trabajo de investigación.

Tabla 16.*Resultado de análisis estadístico de resistencia a compresión de ladrillos*

No	DESCRIPCIÓN	ESFUERZO (MPa)	PROMEDO	DESVIACIÓN	Tn	T	CONCLUSIÓN
1	D1	33.8	33.68	0.10954451	1.1	1.602	V. ACEPTABLE
2	D2	33.6			0.7		V. ACEPTABLE
3	D3	33.6			0.7		V. ACEPTABLE
4	D4	33.6			0.7		V. ACEPTABLE
5	D5	33.8			1.1		V. ACEPTABLE
6	E1	34.0	33.76	0.16733201	1.4		V. ACEPTABLE
7	E2	33.6			1.0		V. ACEPTABLE
8	E3	33.8			0.2		V. ACEPTABLE
9	E4	33.6			1.0		V. ACEPTABLE
10	E5	33.8			0.2		V. ACEPTABLE
		PROMEDIO	33.72				

Fuente: elaboración propia

Una vez finalizado el análisis estadístico se puede asegurar que no existen datos atípicos, por lo tanto, el valor promedio del esfuerzo a compresión del ladrillo de los lotes D y E es de 33.72 MPa el cual es un valor aceptable para el propósito de esta investigación.

3.1.5 Resistencia a compresión de muretes de ladrillo

El ensayo de resistencia a compresión de muretes se realizó en el Centro de Investigación de la Vivienda (CIV) usando como referencia la norma ASTM C13-14 y la investigación de posgrado de (Pachano, 2018) y se obtuvo los siguientes resultados.

Tabla 17.*Resultados del ensayo a compresión de muretes lotes D y E*

No	IDENTIFICACIÓN	ESPEJOR MEDIO	LONGITUD MEDIA	ALTURA MEDIA	ÁREA PROMEDIO	CARGA MÁXIMA REGISTRADA	ESFUERZO (f'm)
		(cm)	(cm)	(cm)	(cm ²)	(Kg)	(MPa)
1	D1	14.3	70.3	69.0	1005	25206.6	2.4
2	D2	14.0	70.0	68.8	980	21410.8	2.2
3	D3	14.0	70.0	68.6	980	19910.6	2.7
4	D4	14.2	70.2	68.6	997	22543.3	2.6
5	D5	14.1	69.0	68.5	973	24718.5	2.9
6	E1	15.3	68.8	69.7	1053	24646.6	2.3
7	E2	15.7	68.7	69.6	1079	22471.4	1.9
8	E3	15.5	68.6	69.5	1063	26724.0	1.8
9	E4	15.4	68.5	69.5	1055	26365.5	2.1
10	E5	15.5	68.4	69.6	1060	28857.1	2.3

Fuente: elaboración propia

Los resultados obtenidos para la resistencia a compresión de muretes ayudarán a la obtención de las propiedades físicas (módulo de elasticidad) del murete que más adelante se detallarán.

La figura 28 muestra la falla de los lotes D y E que se caracterizan por presentar fallas verticales en las caras laterales y también presenta falla por frexo-compresión en las esquinas inferiores.



Figura 28. Muretes ensayados a compresión lotes D y E
Fuente: elaboración propia

De los datos obtenidos de la resistencia a compresión de los muretes de mampostería de ladrillo se realiza el análisis estadístico según la norma (ASTM E178-16, 2016) para determinar valores atípicos.

Tabla 18.
Resultado análisis estadístico de compresión de muretes de ladrillo

No	IDENTIFICACIÓN	ESFUERZO	PROMEDIO	DESVIACIÓN	T _n	T	Conclusión
		(f _m) (MPa)					
1	D1	2.4	2.6	0.3	1	1.6	V. ACEPTADO
2	D2	2.2			1		V. ACEPTADO
3	D3	2.7			0		V. ACEPTADO
4	D4	2.6			0		V. ACEPTADO
5	D5	2.9			1		V. ACEPTADO
6	E1	2.3	2.1	0.2	1		V. ACEPTADO
7	E2	1.9			1		V. ACEPTADO
8	E3	1.8			1		V. ACEPTADO
9	E4	2.1			0		V. ACEPTADO
10	E5	2.3			1		V. ACEPTADO

Fuente: elaboración propia

Finalizado el análisis estadístico y en vista de la ausencia de valores atípicos se toma como valores promedios de resistencia a compresión aceptados.

Tabla 19.
Resultado final de análisis estadístico sin valores atípicos

No	IDENTIFICACIÓN	ESFUERZO (f'm)	PROMEDIO
		(MPa)	
1	D1	2.4	2.6
2	D2	2.2	
3	D3	2.7	
4	D4	2.6	
5	D5	2.9	
6	E1	2.3	2.1
7	E2	1.9	
8	E3	1.8	
9	E4	2.1	
10	E5	2.3	
		Promedio	2.3

Fuente: elaboración propia

Con los valores de esfuerzo f'm promedio de cada uno de los lotes, se realizó un adecuado tratamiento de datos para hallar la curva esfuerzo de compresión-deformación unitaria que la podemos apreciar en la **figura 30 y 31**.

3.1.6 Resistencia a tensión diagonal (corte) de muretes de ladrillo

El ensayo de resistencia a tensión diagonal se lo realiza en el CIV usando como referencia la norma (ASTM-E519/E519M-10, 2010) y se obtuvo los siguientes resultados.

Tabla 20.
Resultado del ensayo a tensión diagonal de muretes lotes D y E

No	IDENTIFICACIÓN	ESPEJOR MEDIO	LONGITUD MEDIA	ÁREA CORTE	CARGA MÁXIMA REGISTRAD A	ESFUERZO A CORTE MURETE
		(cm)	(cm)	(cm ²)	(Kg)	(MPa)
1	D6	14.0	70.0	980	1987.1	0.14
2	D7	14.0	70.0	980	2588.4	0.18
3	D8	14.0	70.0	980	4569.3	0.32
4	D9	13.8	69.0	952	3746.5	0.27
5	D10	13.9	69.0	959	4664.2	0.34
6	E6	14.5	70.0	1015	4397.4	0.30
7	E7	14.5	70.0	1015	5701.3	0.39
8	E8	14.5	70.0	1015	4251.3	0.29
9	E9	14.3	70.0	1001	6134.7	0.43
10	E10	14.5	70.0	1015	4664.2	0.32

Fuente: elaboración propia

La figura 29 muestra la falla de los lotes D y E que se caracterizan por presentar fallas por fricción de junta, se caracteriza por tener la forma escalonada debido a la fricción entre el mortero y el ladrillo.

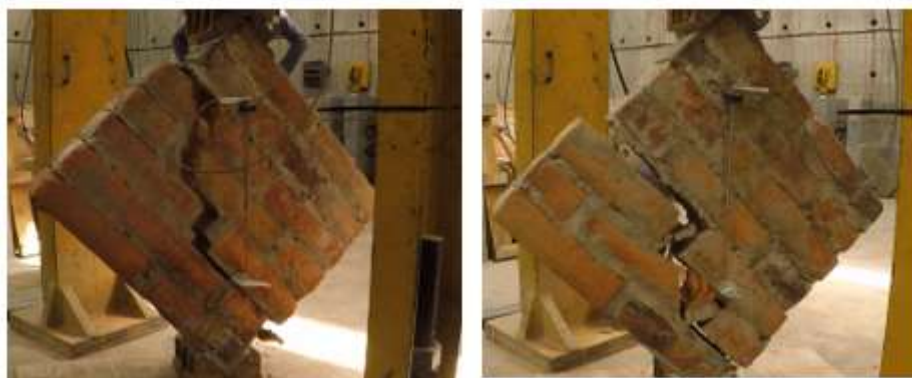


Figura 29. Muretes ensayados a tensión diagonal lotes D y E
Fuente: elaboración propia

De los datos obtenidos de la resistencia a tensión diagonal de los muretes de mampostería de ladrillo se realiza el análisis estadístico según la norma (ASTM E178-16, 2016) para determinar valores atípicos.

Tabla 21.

Resultado análisis estadístico de tensión diagonal lotes D y E

No	IDENTIFICACIÓN	ESFUERZO A CORTE MURETE	PROMEDIO	DESVIACIÓN	Tn	T	Conclusión
		(MPa)					
1	D6	0.14	0.3	0.1	1.28	1.6	V. ACEPTADO
2	D7	0.18			0.79		V. ACEPTADO
3	D8	0.32			0.83		V. ACEPTADO
4	D9	0.27			0.25		V. ACEPTADO
5	D10	0.34			0.99		V. ACEPTADO
6	E6	0.30	0.3	0.1	0.57		V. ACEPTADO
7	E7	0.39			1.60		V. ACEPTADO
8	E8	0.29			0.45		V. ACEPTADO
9	E9	0.43			2.01		V. ATÍPICO
10	E10	0.32			0.78		V. ACEPTADO

Fuente: elaboración propia

Los resultados obtenidos para la resistencia a tensión de muretes ayudarán a la obtención de las propiedades físicas (módulo de corte) del murete que más adelante se detallarán.

Finalizado el análisis estadístico y en vista de la ausencia de valores atípicos se toma como valores promedios de resistencia a tensión diagonal aceptados.

Tabla 22.

Resultado análisis estadístico de tensión diagonal promedio lotes D y E

No	IDENTIFICACIÓN	ESFUERZO A CORTE MURETE	PROMEDIO
		(MPa)	
1	D6	0.14	0.3
2	D7	0.18	
3	D8	0.32	
4	D9	0.27	
5	D10	0.34	
6	E6	0.30	0.3
7	E7	0.39	
8	E8	0.29	
9	E9	0.43	
10	E10	0.32	
		Promedio	0.3

Fuente: elaboración propia

Con los valores de esfuerzo a corte promedio de cada uno de los lotes, se realizó un adecuado tratamiento de datos para hallar la curva **esfuerzo de corte-deformación unitaria**.

3.1.7 Módulo de elasticidad de la mampostería

La figura 30 y 31 muestran las gráficas de esfuerzo – deformación unitaria de los lotes D y E respectivamente. La curva se encuentra identificada por el número del LVDT y denominación del lote: 1 D1 que corresponde a la curva generada por el LDVT vertical1, y 2 D1 que corresponde a la curva generada por el LVDT vertical.

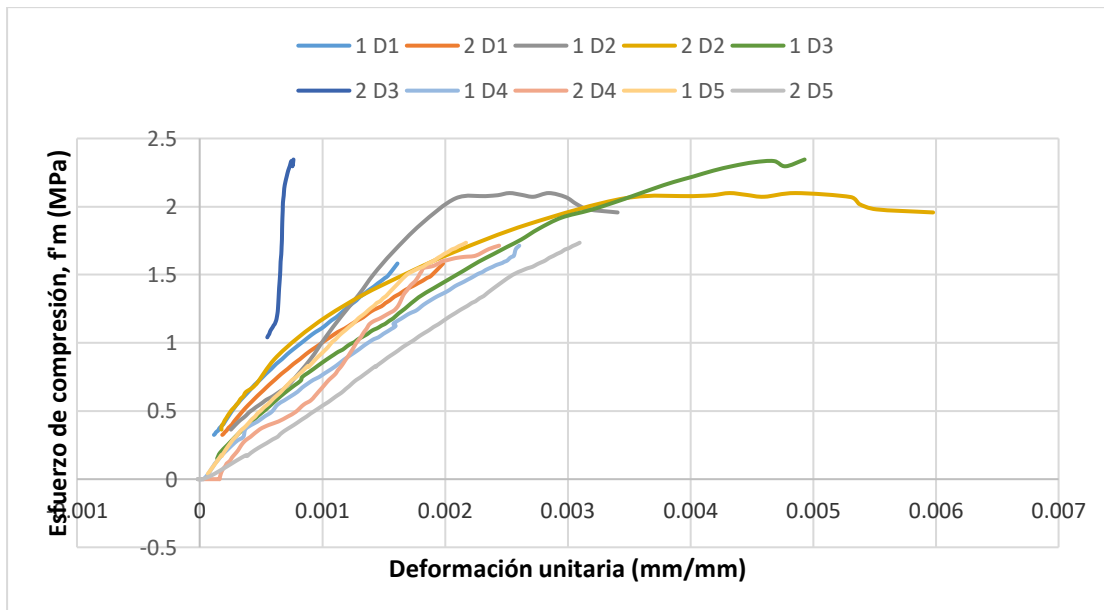


Figura 30. Curvas esfuerzo vs deformación unitaria de lote D

Fuente: elaboración propia

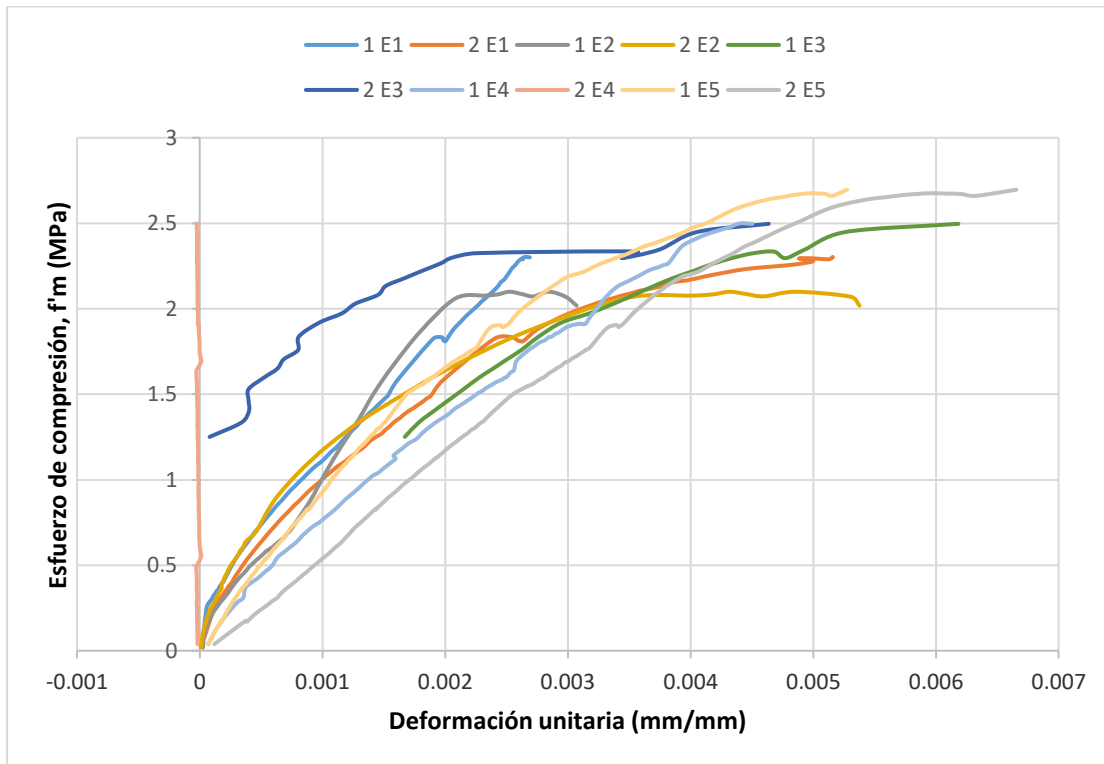


Figura 31. Curvas esfuerzo vs deformación unitaria de lote E
Fuente: elaboración propia

El módulo de elasticidad secante de la mampostería se calcula dentro del intervalo de 5 y 33 % de la gráfica esfuerzo – deformación unitaria de cada una de las curvas obtenidas en los gráficos anteriores. Las figuras 29 y 30 muestran la ecuación y línea de tenencia de cada LVDT vertical de donde se obtiene el módulo de elasticidad.

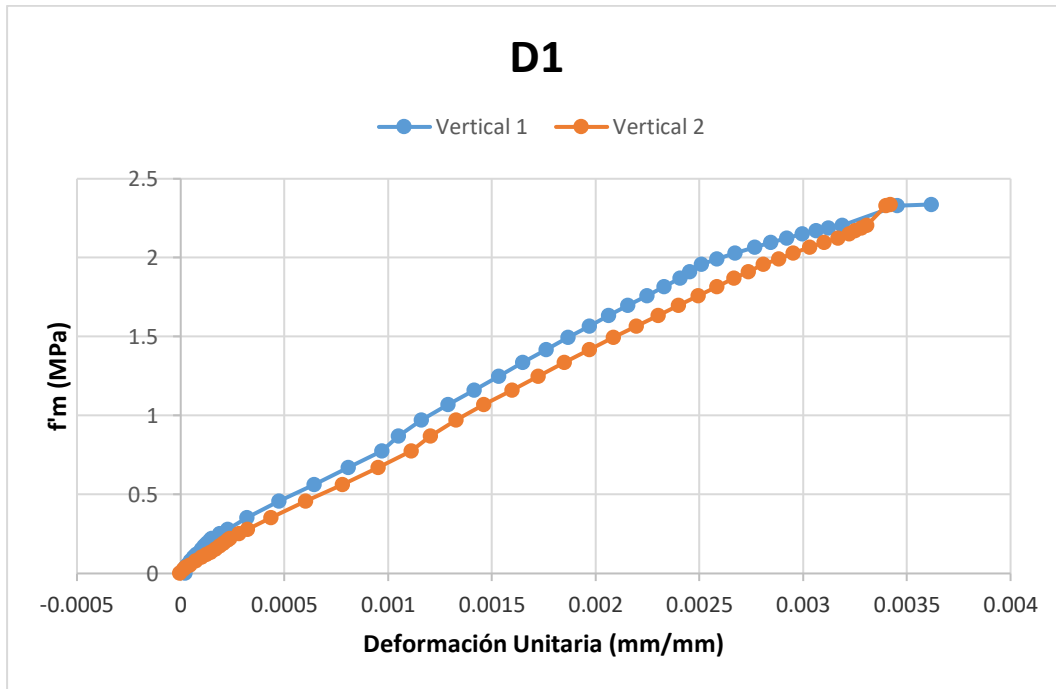


Figura 32. Curva esfuerzo vs deformación unitaria muestra D1
Fuente: elaboración propia

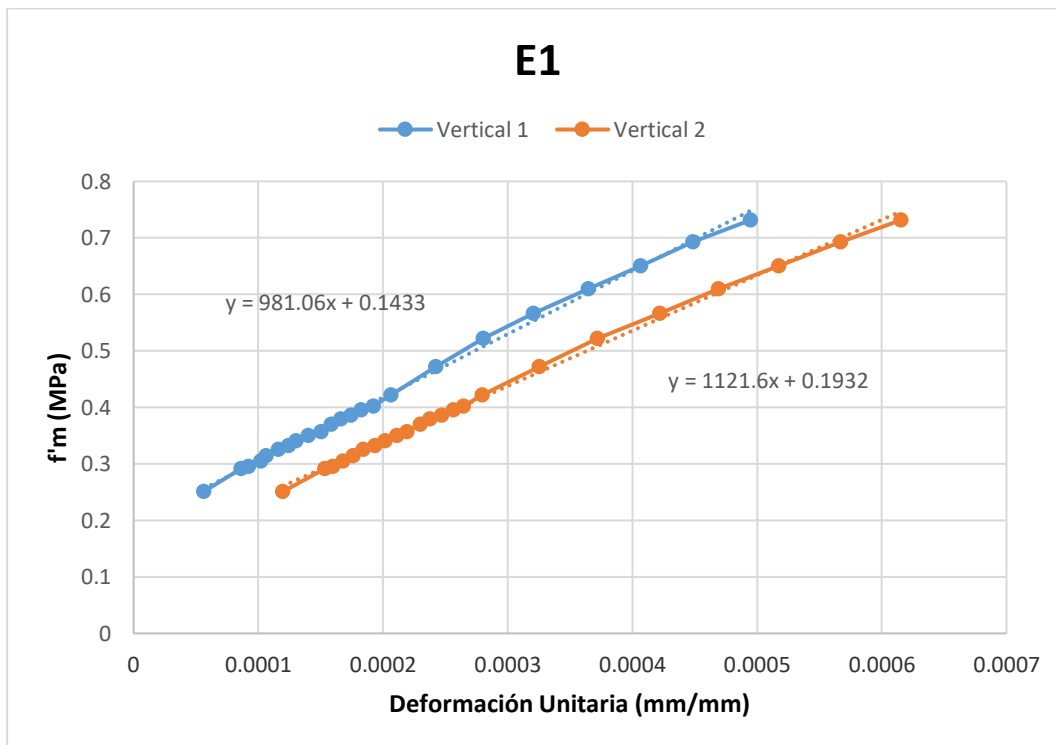


Figura 33. Curva esfuerzo vs deformación unitaria muestra E1
Fuente: elaboración propia

La tabla 23 muestra el resumen de los diferentes módulos de elasticidad obtenidos de la lectura de cada LVDT vertical correspondiente a cada murete de ladrillo.

Tabla 23.
Resultados de módulos de elasticidad lotes D y E

No	IDENTIFICACIÓN	Em1	Em2
		(MPa)	(MPa)
1	D1	658.5	734.6
2	D2	380.1	421.8
3	D3	952.6	2194.3
4	D4	13337.0	1370.3
5	D5	1698.5	334.4
6	E1	981.1	1121.6
7	E2	761.8	1307.1
8	E3	813.2	332.4
9	E4	714.7	13336.0
10	E5	925.2	618.5

Fuente: elaboración propia

De acuerdo la norma (ASTM E178-16, 2016) se realiza el estudio estadístico del módulo de elasticidad de mampostería de ladrillos, para de esta manera discretizar los valores y obtener mejores resultados junto a conclusiones confiables que aseguran el buen trabajo de investigación.

Tabla 24.
Resultado análisis estadístico de módulo de elasticidad lotes D y E

No	IDENTIFICACIÓN	Em1	Em2	Em Promedio Murete	Em Promedio Lote	Desviacion Estandar
		(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	
1	D1	658.5	734.6	697	2208	3958.20645
2	D2	380.1	421.8	401		
3	D3	952.6	2194.3	1573		
4	D4	13337.0	1370.3	7354		
5	D5	1698.5	334.4	1016		
6	E1	981.1	1121.6	1051	2091	3960.21661
7	E2	761.8	1307.1	1034		
8	E3	813.2	332.4	573		
9	E4	714.7	13336.0	7025		
10	E5	925.2	618.5	772		

Fuente: elaboración propia

Una vez realizado el análisis estadístico se colige que existen dos valores atípicos relacionado al murete D4 y E4, por el cual los datos no son tan confiables y se procede a realizar nuevamente el análisis eliminando el valor atípico.

Tabla 25.
Resultado análisis estadístico de módulo de elasticidad lotes D y E con valores atípicos

No	IDENTIFICACIÓN	Em1	Em2	Em Promedio Murete	Em Promedio Lote	Desviación Estandar	Tn1	Tn2	T	Conclusión 1	Conclusión 2
		(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)						
1	D1	658.5	734.6	697	2208	3958.20645	0.391517476	0.37229412	2.04	V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
2	D2	380.1	421.8	401			V. ACEPTADO	V. ACEPTADO			
3	D3	952.6	2194.3	1573			V. ACEPTADO	V. ACEPTADO			
4	D4	13337.0	1370.3	7354			V. ATÍPICO	V. ACEPTADO			
5	D5	1698.5	334.4	1016			V. ACEPTADO	V. ACEPTADO			
6	E1	981.1	1121.6	1051	2091	3960.21661	0.280313202	0.24482524		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
7	E2	761.8	1307.1	1034			V. ACEPTADO	V. ACEPTADO			
8	E3	813.2	332.4	573			V. ACEPTADO	V. ACEPTADO			
9	E4	714.7	13336.0	7025			V. ACEPTADO	V. ATÍPICO			
10	E5	925.2	618.5	772			V. ACEPTADO	V. ACEPTADO			

Fuente: elaboración propia

Finalizado el análisis estadístico se obtiene el siguiente promedio módulo de elasticidad de los lotes D y E el cual refleja un valor de 907 MPa.

Tabla 26.
Resultado de análisis estadístico del módulo de elasticidad promedio

No	IDENTIFICACIÓN	Em1	Em2	Em Promedio Murete	Em Promedio Lote
		(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
1	D1	658.5	734.6	697	972
2	D2	380.1	421.8	401	
3	D3	952.6	2194.3	1573	
4	D4		1370.3	1370	
5	D5	1698.5	334.4	1016	
6	E1	981.1	1121.6	1051	842
7	E2	761.8	1307.1	1034	
8	E3	813.2	332.4	573	
9	E4	714.7		715	
10	E5	925.2	618.5	772	
				Promedio	907

Fuente: elaboración propia

3.1.8 Módulo de corte de la mampostería

Las figuras 31 y 32 muestra las gráficas de esfuerzo de corte – deformación unitaria de los lotes D y E respectivamente. La curva se encuentra identificada por el número del lote y con denominación D6, D7, D8, D9, D10, E6, E7, E8, E9, E10 que corresponde a curva generada por la posición de un LDVT vertical y otro LDVT horizontal.

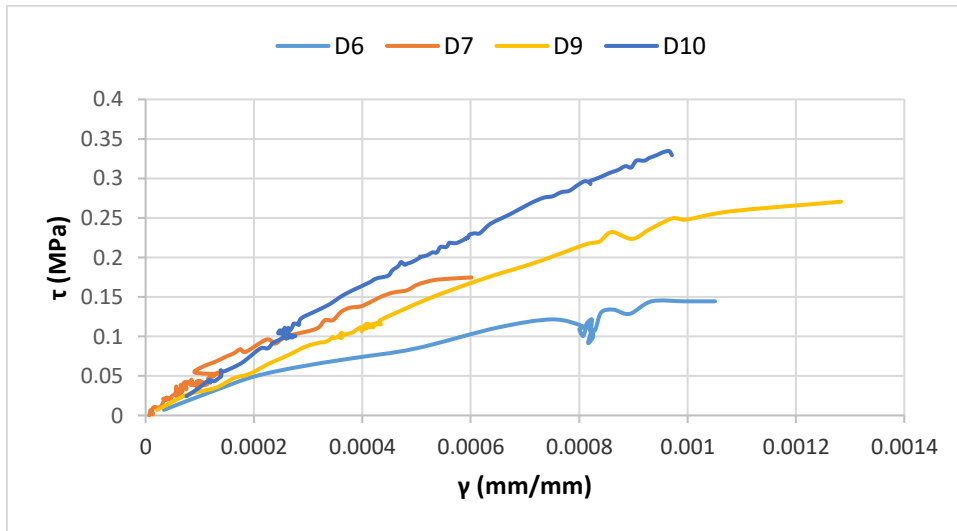


Figura 34. Curva esfuerzo de corte vs deformación unitaria lote D
Fuente: elaboración propia

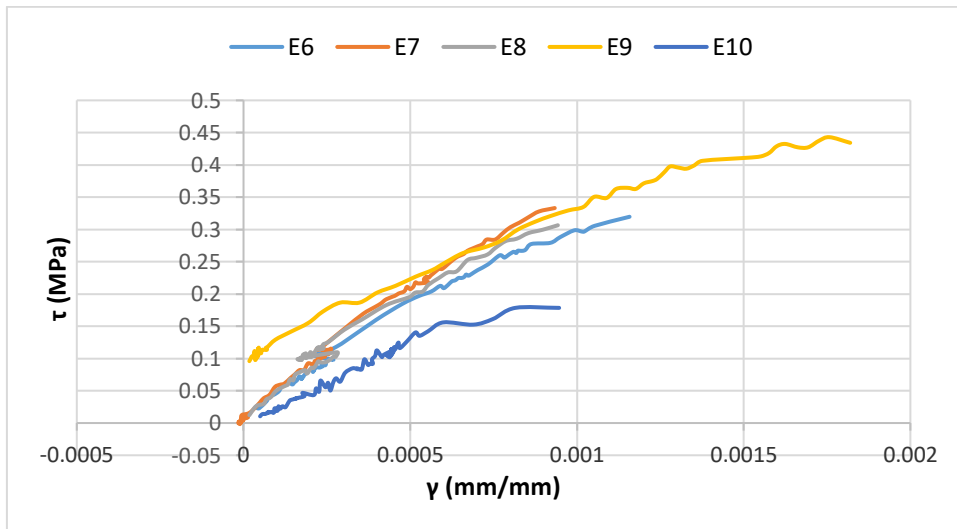


Figura 35. Curva esfuerzo de corte vs deformación unitaria lote E
Fuente: elaboración propia

Se muestra la gráfica de módulo de corte del murete correspondiente al lote D.

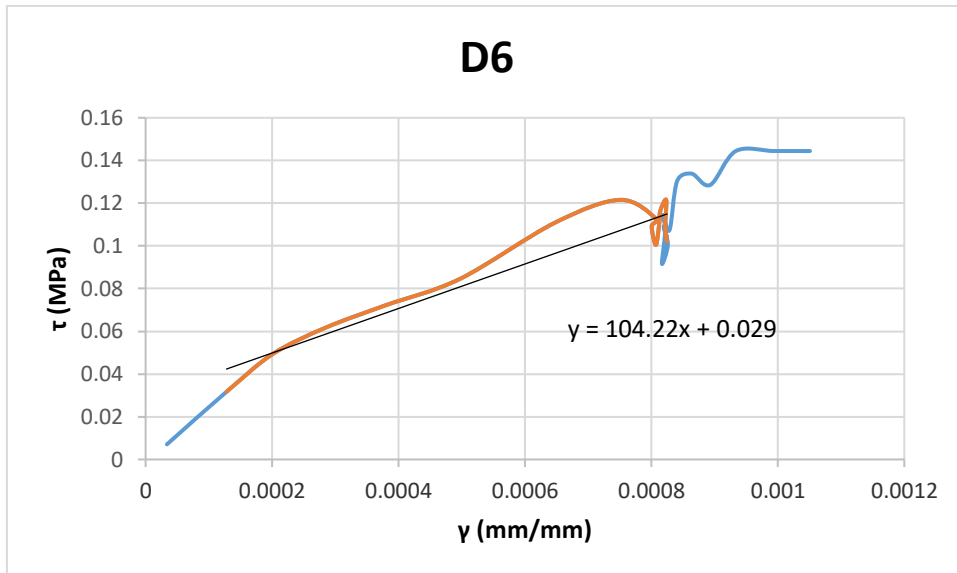


Figura 36. Curva esfuerzo de corte vs deformación unitaria muestra D6
Fuente: elaboración propia

Se muestra la gráfica de módulo de corte del murete correspondiente al lote D.

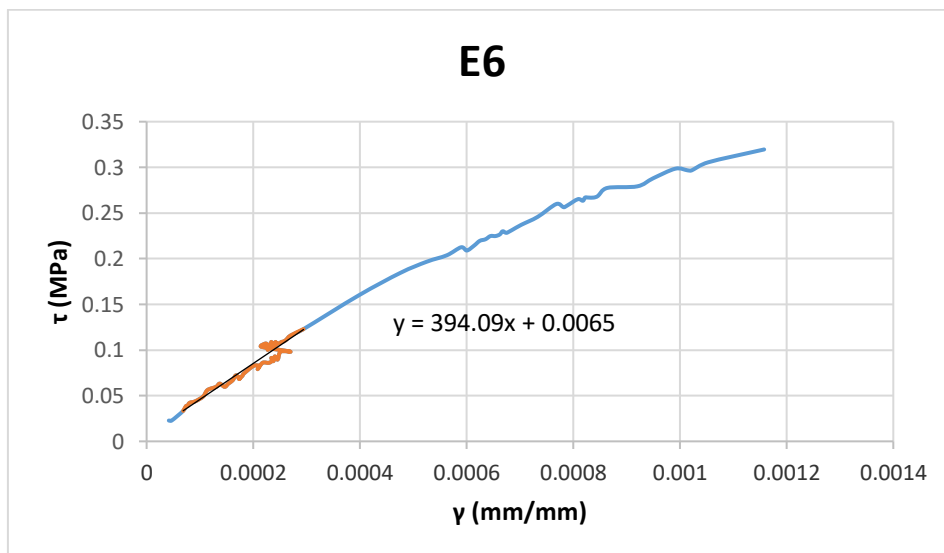


Figura 37. Curva esfuerzo de corte vs deformación unitaria muestra E6
Fuente: elaboración propia

La tabla 25 muestra el resumen de valores para módulos de corte obtenidos de la lectura de cada LVDT vertical y LVDT.

Tabla 27.
Resumen de los valores de módulo de corte

No	IDENTIFICACIÓN	MÓDULO DE CORTE
		(MPa)
1	D6	104.2
2	D7	332.2
3	D8	0.1
4	D9	271.5
5	D10	441.3
6	E6	594.1
7	E7	404.1
8	E8	359.0
9	E9	329.4
10	E10	242.4

Fuente: elaboración propia

De acuerdo la norma (ASTM E178-16, 2016) se realiza el estudio estadístico del módulo de corte de mampostería de ladrillos, para de esta manera discretizar los valores y obtener mejores resultados junto a conclusiones confiables que aseguran el buen trabajo de investigación.

Tabla 28.
Resultado análisis estadístico de módulo de corte lotes D y E

No	ID	MÓDULO DE CORTE	PROMEDIO	DESVIACIÓN	Tn	T	Conclusión
		(MPa)					
1	D6	104.22	229.9	177.1	0.709	1.602	V. ACEPTADO
2	D7	332.15			0.578		V. ACEPTADO
3	D8	0.14			1.297		V. ACEPTADO
4	D9	271.50			0.235		V. ACEPTADO
5	D10	441.33			1.194		V. ACEPTADO
6	E6	594.09	385.8	130.6	1.595		V. ACEPTADO
7	E7	404.10			0.140		V. ACEPTADO
8	E8	358.95			0.206		V. ACEPTADO
9	E9	329.41			0.432		V. ACEPTADO
10	E10	242.43			1.098		V. ACEPTADO
Promedio		307.8					

Fuente: elaboración propia

Finalizado el análisis estadístico se concluye que los valores del Módulo de corte son aceptables por lo tanto se tiene un valor promedio de 307.8 MPa.

3.1.9 Módulo de Poisson de la mampostería

Los datos que se presentan a continuación son de los módulos de Poisson de cada uno de los LVDTs, que fueron usados de manera vertical y horizontal para el respectivo análisis.

Tabla 29.
Resultado de valores de módulo de Poisson lotes D y E

No.	IDENTIFICACIÓN	v1	v2
1	D1	0.013	0.011
2	D2	0.015	0.013
3	D3	0.012	0.030
4	D4	0.069	0.070
5	D5	0.227	0.048
6	E1	0.080	0.070
7	E2	0.043	0.069
8	E3	0.209	0.091
9	E4	0.048	3.777
10	E5	0.232	0.152

Fuente: elaboración propia

De acuerdo la norma (ASTM E178-16, 2016) se realiza el estudio estadístico del módulo de Poisson de mampostería de ladrillos, para de esta manera discretizar los valores y obtener mejores resultados junto a conclusiones confiables que aseguran el buen trabajo de investigación.

Tabla 30.
Resultado análisis estadístico de módulo de Poisson lotes D y E

No.	IDENTIFICACIÓN	v1	v2	Promedio poisson	Desviacion Estandar	Tn1	Tn2	T	Conclusión 1	Conclusión 2
1	D1	0.013	0.011	0.05	0.066	0.57417359	0.596655688	2.04	V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
2	D2	0.015	0.013			0.54270466	0.564495151		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
3	D3	0.012	0.030			0.59332089	0.309442094		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
4	D4	0.069	0.070			0.27134547	0.286218121		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
5	D5	0.227	0.048			2.66386171	0.040633228		V. ATÍPICO	V. ACEPTADO
6	E1	0.080	0.070	0.48	1.161	0.3422542	0.350155466		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
7	E2	0.043	0.069			0.37384692	0.351149228		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
8	E3	0.209	0.091			0.23106371	0.332488166		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
9	E4	0.048	3.777			0.36947391	2.841453442		V. ACEPTADO	V. ATÍPICO
10	E5	0.232	0.152			0.21139907	0.279622766		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO

Fuente: elaboración propia

Una vez realizado el análisis estadístico se colige que existen dos valores atípicos relacionado al murete D5 y E4, por el cual los datos no son tan confiables y se procede a realizar nuevamente el análisis eliminando el valor atípico.

Tabla 31.

Resultado análisis estadístico de módulo de Poisson lotes D y E con valores atípicos

No.	IDENTIFICACIÓN	v1	v2	Promedio poisson	Desviación Estandar	Tn1	Tn2	T	Conclusión 1	Conclusión 2
1	D1	0.013	0.011	0.03	0.025	0.57417359	0.596655688	2.04	V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
2	D2	0.015	0.013			0.54270466	0.564495151		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
3	D3	0.012	0.030			0.59332089	0.309442094		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
4	D4	0.069	0.070			0.27134547	0.286218121		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
5	D5		0.048				0.040633228			V. ACEPTADO
6	E1	0.080	0.070	0.11	0.070	0.3422542	0.350155466		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
7	E2	0.043	0.069			0.37384692	0.351149228		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
8	E3	0.209	0.091			0.23106371	0.332488166		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
9	E4	0.048				0.36947391			V. ACEPTADO	
10	E5	0.232	0.152			0.21139907	0.279622766		V. ACEPTADO	V. ACEPTADO
			Promedio	0.07						

Fuente: elaboración propia

La tabla 31 ayuda al análisis estadístico con el cual podemos descartar valores atípicos, los cuales no aportan en la investigación.

Tabla 32.

Resultado de análisis estadístico del módulo de Poisson promedio

No.	IDENTIFICACIÓN	v1	v2	Promedio poisson
1	D1	0.013	0.011	0.03
2	D2	0.015	0.013	
3	D3	0.012	0.030	
4	D4	0.069	0.070	
5	D5		0.048	
6	E1	0.080	0.070	0.11
7	E2	0.043	0.069	
8	E3	0.209	0.091	
9	E4	0.048		
10	E5	0.232	0.152	
			Promedio	0.07

Fuente: elaboración propia

Finalizado el análisis estadístico se obtiene un valor promedio de 0.07 para el módulo de Poisson, que ya es un dato confiable.

3.1.10 Módulo de elasticidad de la mampostería vs resistencia a la compresión de la mampostería

La tabla 33 refleja la relación E_m/f_m , que se obtuvo al realizar los ensayos realizados en esta investigación, con la que se recomienda realizar el ensayo para de esta forma determinar de manera experimental el módulo de elasticidad debido a las propiedades individuales que componen la mampostería, puesto que dependiendo del origen de los ladrillos varían las características de este.

Tabla 33.

Relación módulo de elasticidad vs resistencia a la compresión

LOTE	REISTENCIA COMPRESIÓN MAMPOSTERÍA (f'm)	MÓDULO DE ELASTICID AD (Em)	RELACIÓN Em/f'm
	(MPa)	(MPa)	
D	2.6	972	379
E	2.1	842	400
		PROMEDIO	389

Fuente: elaboración propia

La tabla 33 muestra la obtención de manera gráfica la misma relación Em/f'm, con lo cual para este trabajo de investigación se puede comparar con las siguientes ecuaciones.

$$\text{Ladrillo lote D } Em = 750 * f'm$$

Ecuación 15

$$\text{Ladrillo lote E } Em = 750 * f'm$$

Ecuación 16

3.1.11 Módulo de elasticidad de la mampostería vs módulo de corte de la mampostería

La tabla 34 muestra la relación Gm/Em obtenido de los ensayos realizados en el trabajo de investigación.

Tabla 34.

Relación módulo de elasticidad vs módulo de corte

LOTE	REISTENCIA COMPRESIÓN MAMPOSTERÍA (f'm)	MÓDULO DE ELASTICID AD (Em)	RELACIÓN Em/f'm
	(MPa)	(MPa)	
D	2.6	972	379
E	2.1	842	400
		PROMEDIO	389

Fuente: elaboración propia

3.1.12 Comparación de resultados con la norma NEC-SE-MP

De acuerdo con el capítulo 5 de la norma (NEC-SE-MP, 2015) sección 5.3 muestra las ecuaciones 15 y 16 para obtener el módulo de elasticidad, mediante esta investigación se compara los valores obtenidos experimentalmente con los valores presentados en la norma.

3.1.13 Módulo de elasticidad

De acuerdo con la (NEC-SE-MP, 2015) la relación del módulo de elasticidad para el ladrillo es:

$$E_m = 750 * f'm \leq 20000 \text{ MPa}$$

Ecuación 17

El módulo de elasticidad obtenido de forma experimental es:

$$\text{Ladrillo lote D } E_m = 379 * f'm$$

Ecuación 18

$$\text{Ladrillo lote E } E_m = 400 * f'm$$

Ecuación 19

El valor obtenido para cada lote se encuentra dentro del rango de la ecuación expuesta en la norma (NEC-SE-MP, 2015), por lo tanto, se confirma que el módulo de elasticidad puede variar de acuerdo con la calidad y procedencia de sus componentes que conforman el ladrillo artesanal.

3.1.14 Módulo de corte

De acuerdo con la (NEC-SE-MP, 2015) la relación del módulo de corte para el ladrillo es:

$$G_m = 0.4 * E_m$$

Ecuación 20

El módulo de corte obtenido de forma experimental es:

$$G_m = 0.35 * E_m$$

Ecuación 21

El valor obtenido es casi similar al esperado de la ecuación para módulo de corte.

3.2 Conclusiones

- De acuerdo con los resultados obtenidos en ensayos de absorción, resistencia a la compresión y resistencia a tensión diagonal se concluye que los ladrillos de fabricación artesanal de las dos fábricas ubicadas en la ciudad de Quito, no son aptas para el uso estructural por que presenta características muy deficientes.
- De acuerdo con el capítulo 5 de la norma (NEC-SE-MP, 2015) sección 5.3.1, la ecuación que presenta la norma y los valores que se obtuvieron en el trabajo de investigación se encuentran dentro del rango, es decir son menores a 20000MPa, por lo tanto, se confirma que el módulo de elasticidad (E_m) es variable de acuerdo con la calidad y procedencia de los componentes que lo conforman.
- La deformación elástica lineal que describe el módulo de cortante según la norma (NEC-SE-MP, 2015) sección 5.3.2, sugiere un valor de $0.4 * E_m$, y en relación con el trabajo de investigación realizado se tiene un valor de $0.35 * E_m$, por lo tanto, comparando a estos dos valores se puede concluir que la deformación elástica lineal de los ladrillos artesanales también es variable y este de igual forma depende de los componentes que lo conforman.
- Conforme a los resultados obtenidos se concluye que los materiales de construcción, en este caso los ladrillos artesanales son de baja calidad en la ciudad que Quito específicamente los obtenidos de las ladrilleras de la parroquia de Conocoto, por lo tanto, no es recomendable su uso estructural.
- Los valores obtenidos para los módulos de corte y elasticidad son confiables puesto que se realizó un análisis estadístico de valores atípicos, con el cual descartamos los valores que no fueron registrados por el aparato de medida LVDT.
- Se formula la siguiente ecuación para el módulo de corte obtenido mediante la investigación $G_m = 0.35 * E_m$, este valor es cercano al que presenta la (NEC-SE-MP, 2015) $G_m = 0.4 * E_m$, por lo tanto, se asegura que el módulo de corte de la mampostería de ladrillo para la ciudad de Quito específicamente para los sectores de Conocoto y Chilibulo del cual se extrajeron las muestras, es aceptable su valor.
- Se formulan las siguientes ecuaciones para el módulo de elasticidad obtenido experimentalmente para los lotes D y E que corresponden a los barrios de Conocoto y Chilibulo de la ciudad de Quito.

$$\text{Ladrillo lote D } E_m = 379 * f'm$$

$$\text{Ladrillo lote E } E_m = 400 * f'm$$

- Se obtuvieron las propiedades mecánicas de los muretes de acuerdo con los ensayos de resistencia a la compresión, resistencia a la tensión diagonal bajo la aplicación de cargas monolíticas se obtuvo los siguientes valores:
Módulo de Poisson promedio para el lote D y lote E respectivamente 0.03 y 0.11.
Módulo de elasticidad promedio para el lote D y E respectivamente 972 y 842 MPa.

3.3 Recomendaciones

- Continuar con las investigaciones sobre los ladrillos artesanales de las diferentes provincias del Ecuador, para así tener un amplio margen de datos respecto a las propiedades mecánicas de las mamposterías de ladrillo y de esta manera estandarizar una fabricación técnica de los ladrillos en general.
- Actualizar la norma ecuatoriana de la construcción NEC conforme se vayan obteniendo datos de investigaciones prácticas en los diferentes temas de análisis estructural.
- Realizar un algoritmo de trabajo eficiente para el análisis de datos ya que de esto depende mucho el avance o retraso de este.
- Determinar de forma independiente y comparar los resultados de los diferentes ensayos que se realizan en el LEMSUR, ya sean estos ensayos de absorción, compresión, análisis granulométrico, compresión de cubos de mortero, en ciertos casos existen errores en los tratamientos de datos y se puede originar molestias al momento de culminar las investigaciones.
- Visualizar el entorno de trabajo dentro de los laboratorios y hacer uso de los equipos de protección y seguridad.

4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASTM E178-16. (2016). *Stand Practice for Dailing with Outhyng Observation*. United States: ASTM International.
- ASTM-C129-17. (2017). *Standard Specification for nonloadbearing Concrete Masonry Units*.
- ASTM-C140-08. (2007). *Método de Ensayo Estandar para Muestreo y Ensayo de Unidades de Albañilería de Hormigón y Unidades Relacionadas*.
- ASTM-E519/E519M-10. (2010). *Test Method for diagonal tensión (shear) in Masonry Assemblages*.
- Binda, L., Fontana, A., & Frigerio, G. (1988). *Mechanical Behavior of Brick Masonry derived from Units and Mortar Characteristics*. Politécnico de Milan.
- Bravo, D., & Flores, L. (2015). *Análisis estático no lineal de paredes de ladrillo de las casas de Cuenca*. Universidad de Cuenca.
- Camargo, L., & Beatriz, Y. (2020). *Elaboración de ladrillos artesanales mediante el aprovechamiento de lodos resultantes del proceso de depuración en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Quitumbe*. Universidad Central del Ecuador.
- Carvajal, L. (2006). *Metodología de la Investigación Científica. Curso general y aplicado* (28 ed.). Santiago de Cali: U.S.C.
- Crisafulli, F. (1997). *Seismic Behaviour of Reinforced Concrete Structure with Masonry Infills*. UNIVERSITY OF CANTERBURY. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10092/1221>
- Félix, N., & Flores, F. (2006). *Análisis y Estudio de la Mampostería armadda de ladrillo estructural*. ESCUELA SUPERIOR DE LAS FUERZAS ARMADAS.
- Gavilanes, C., & Grace, S. (2016). *Normalización y Estandarización de la fabricación de ladrillos y tejas del Cantón Chambo*. Universidad Nacional de Chimborazo.
- NEC-SE-MP. (2015). *Mampostería Estructural*. Obtenido de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/08/NEC-SE-MP.pdf>
- NTE-INEN-2619. (2012). *Bloques huecos de hormigón, unidades relcionadas y prismas para mampostería refrentado para el ensayo a compresión*.
- NTE-INEN-296. (2015). *LADRILLO CERÁMICO. DETERMINACIÓN DE ABSORCIÓN DE HUMEDAD*.
- NTE-INEN-3049. (2018). *Términos y definiciones, clasificación y requisitos de las dimensiones modulares*.

NTE-INEN-488. (2009). *Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50 mm.*

Romero, J. (2021). *Determinación de la Resistencia a Compresión de ladrillos macizos fabricados con diferentes tipos de arcilla del cantón Pastaza y su comparación con el ladrillo común.* Universidad Técnica de Ambato.

5 ANEXOS

5.1 Anexo I: Informes de laboratorios



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

LEMSUR

COMPRESIÓN DE LADRILLOS

INF. No: 22 - 0095-1
Hoja 02 de 02

Quito, 14 de febrero de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: PAUL DANILLO LÓPEZ SIMBA, EDISON PAUL FURINA ESPINOZA
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0992807851, 0991007835

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ESTUDIO TEÓRICO-EXPERIMENTAL DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MAMPOSTERÍA UTILIZANDO LADRILLO COMERCIALIZADO EN LA CIUDAD DE QUITO.

Contratante: ***

Contratista: ***

Fiscalizador: ***

FECHA DE ENSAYO: 2021-12-08

NORMA: INEN 3049 - 5

No.	DESCRIPCIÓN	CARA SUPERIOR		CARA INFERIOR		ALTO	PESO ESPECÍFICO	ÁREA PROMEDIO	CARGA ROTURA	ESFUERZO
		LARGO	ANCHO	LARGO	ANCHO					
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)					
1	D1	18.8	14.8	18.8	14.7	7.5	1.97	246.11	67.00	2.74
2	D2	18.8	14.7	18.7	14.9	7.5	1.89	248.43	63.30	2.87
3	D3	18.7	14.9	18.8	14.9	7.8	1.96	248.08	71.80	2.89
4	D4	18.8	14.7	18.7	14.8	7.8	1.85	244.88	40.00	1.90
5	D5	18.8	15.0	18.8	14.7	7.7	1.91	248.21	35.30	1.45

No.	DESCRIPCIÓN	CARA SUPERIOR		CARA INFERIOR		ALTO	PESO ESPECÍFICO	ÁREA PROMEDIO	CARGA ROTURA	ESFUERZO
		LARGO	ANCHO	LARGO	ANCHO					
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)					
1	E1	18.8	15.0	18.8	14.8	7.5	1.90	251.07	36.50	1.45
2	E2	18.8	14.6	18.8	14.8	7.8	1.88	248.88	63.10	2.88
3	E3	18.8	14.7	18.8	14.8	7.7	2.00	244.85	37.70	1.34
4	E4	18.8	14.8	18.7	14.7	7.7	1.78	247.27	36.20	1.40
5	E5	18.8	14.0	18.8	14.0	7.8	1.88	244.02	33.70	1.38

OBSERVACIONES: El muestreo es responsabilidad del cliente

ING. MERCEDES VILLACIS
JEFE DE LABORATORIO



Tel: 2976300
Ext: 1609

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil / Mezanina / Ofic. M15 Email: lemsur@epn.edu.ec



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

INF. No. 22-01244
Hoja 01 de 01

Quito, 04 de marzo de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: PAUL DANILLO LOPEZ SIMBA, EDISON PAUL PUNNA ESPINOZA
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0982807861, 0981907835

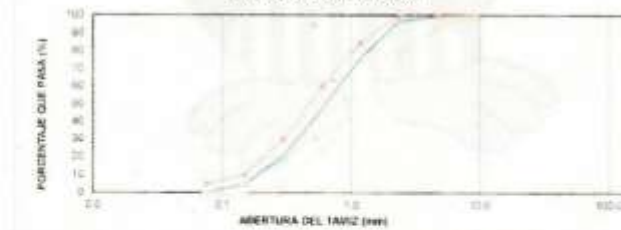
DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ESTUDIO TEÓRICO-EXPERIMENTAL DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MAMPOSTERÍA UTILIZANDO LADRILLO COMERCIALIZADO EN LA CIUDAD DE QUITO
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
MUESTRA: ARENA
PROCEDENCIA: ***
FECHA DE ENSAYO: 2021-11-18
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	62.7	20.7	23.6	76.4
No. 30	0.600	65.1	21.4	45.0	48.1
No. 60	0.300	62.8	20.6	65.6	20.5
No. 100	0.150	46.0	15.3	80.9	5.1
No. 200	0.075	14.2	4.7	85.6	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



Mg. MERCEDES VILLALÓN
JEFE DE LABORATORIO



GR-F-22-0184

Tel.: 2976300
Ext.: 1609



ABSORCIÓN EN LADRILLOS

INF. No. 22 - 0094-I
Hoja 02 de 02

Quito, 14 de febrero de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: PAÚL DANILO LÓPEZ SIMBA, EDISON PAÚL PUNINA ESPINOZA
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0962807651, 0981007835

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ESTUDIO TEÓRICO-EXPERIMENTAL DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MAMPOSTERÍA UTILIZANDO LADRILLO COMERCIALIZADO EN LA CIUDAD DE QUITO
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
MUESTRA: LADRILLO MACIZO
NORMA: INEN 3049 - 5

No.	IDENTIFICACIÓN	MASA SATURADA	MASA SECA	ABSORCIÓN
		(g)	(g)	(%)
1	D1	7224.7	5540.5	30.40
2	D2	7158.3	5360.9	33.50
3	D3	6961.0	5651.6	23.20
4	D4	7414.0	5582.4	32.80
5	D5	7044.3	5586.9	26.10
PROMEDIO				29.20

No.	IDENTIFICACIÓN	MASA SATURADA	MASA SECA	ABSORCIÓN
		(g)	(g)	(%)
1	E1	10969.6	5635.7	98.20
2	E2	11253.5	5362.2	109.90
3	E3	11556.2	5769.5	100.30
4	E4	10991.1	5186.0	111.90
5	E5	11322.8	5659.5	100.10
PROMEDIO				104.10

ING. MERCEDES VILLACÍS
JEFE DE LABORATORIO



Tel.: 2976300
Ext.: 1609



COMPRESIÓN CÚBICA DE MORTEROS DE CEMENTO

INF. No. 22 - 127 - 1
Hoja 01 de 01

Quito, 4 de marzo de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: PAUL DANILLO LOPEZ SIMBA, EDISON PAUL PUNINA ESPINOZA
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0982607651 0981007835

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: ESTUDIO TEÓRICO-EXPERIMENTAL DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MAMPOSTERÍA UTILIZANDO LAORILLO COMERCIALIZADO EN LA CIUDAD DE QUITO
Contratante: ---
Contratista: ---
Fiscalizador: ---
NORMA: ASTM C159

Nº	FECHA FABRICA	DESCRIPCIÓN	FECHA ROTURA	EDAD (días)	PEMO (kg)	CARGA (T)	CARGA (kN)	ESFUERZO (kg/cm²)	ESFUERZO (MPa)
1	2022-02-08	EP 1	2022-03-02	23	254.5	1.20	11.79	47	4.5
2	2022-02-08	EP 2	2022-03-02	23	257	1.23	12.04	48	4.7
3	2022-02-08	EP 3	2022-03-03	23	254.8	1.21	11.86	45	4.7
4	2022-02-08	EP 4	2022-03-03	23	260.1	1.27	12.53	42	4.1
5	2022-02-08	EP 5	2022-03-03	23	250.5	1.24	12.12	48	4.7
6	2022-02-08	EP 6	2022-03-03	23	267.2	1.28	12.57	53	5.2
7	2022-02-08	EP 7	2022-03-03	23	254.8	1.25	12.37	48	4.7
8	2022-02-08	EP 8	2022-03-03	23	262.5	1.27	12.45	48	4.7
9	2022-02-08	EP 9	2022-03-03	23	270.2	1.32	12.97	46	4.5

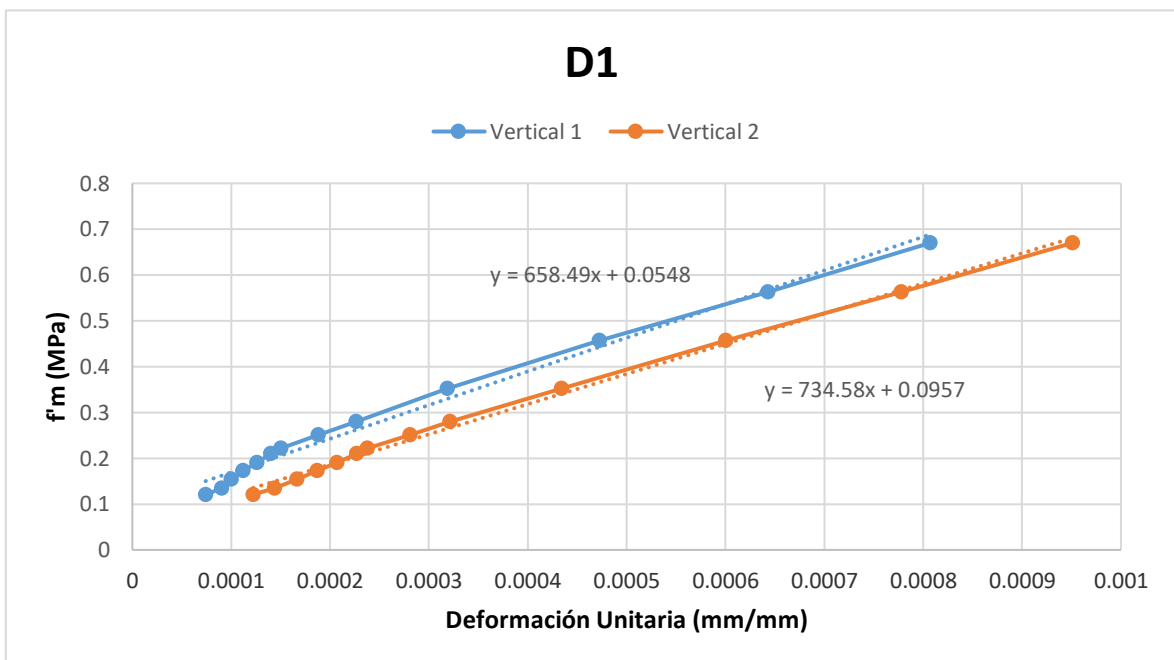
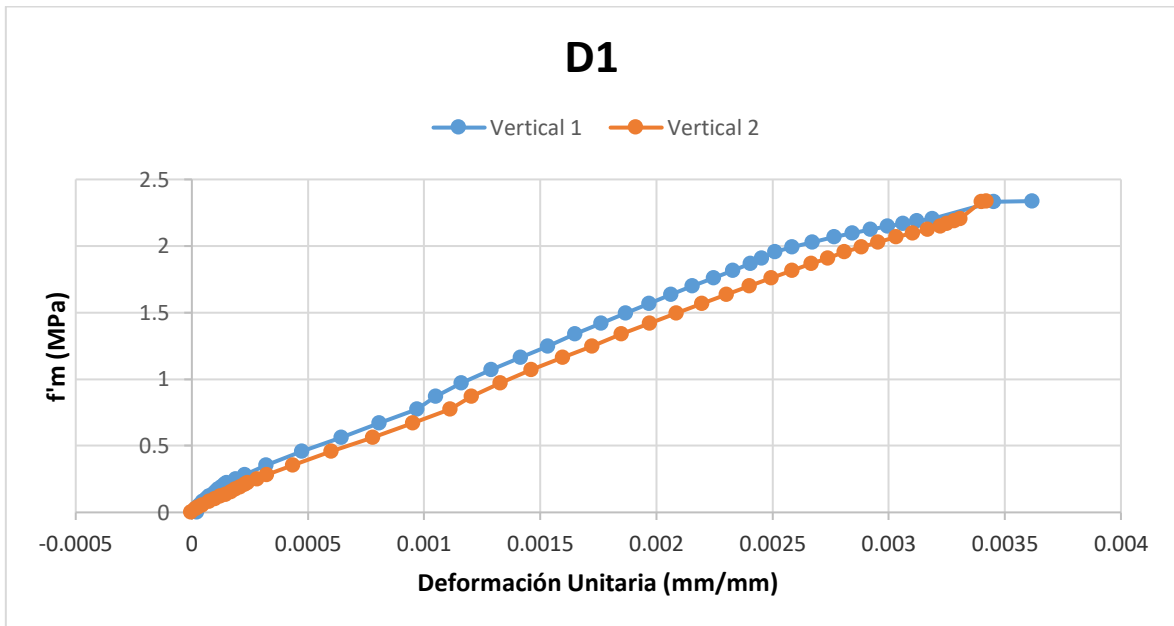
Observación: Los datos se han obtenido con responsabilidad del Cliente

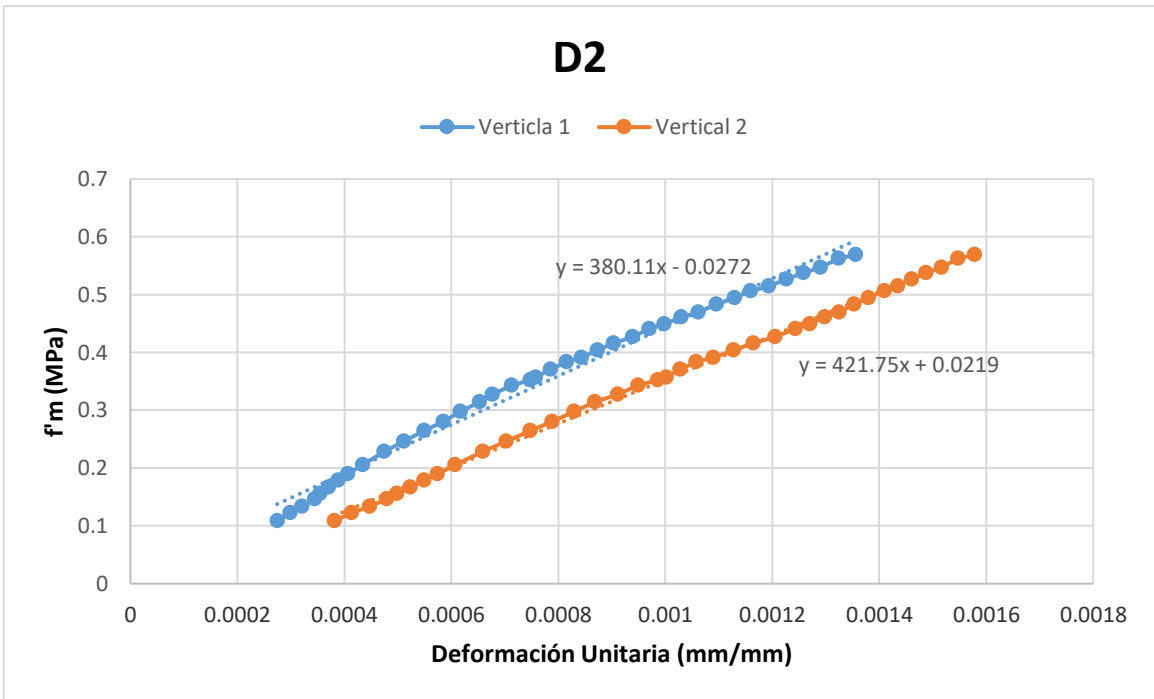
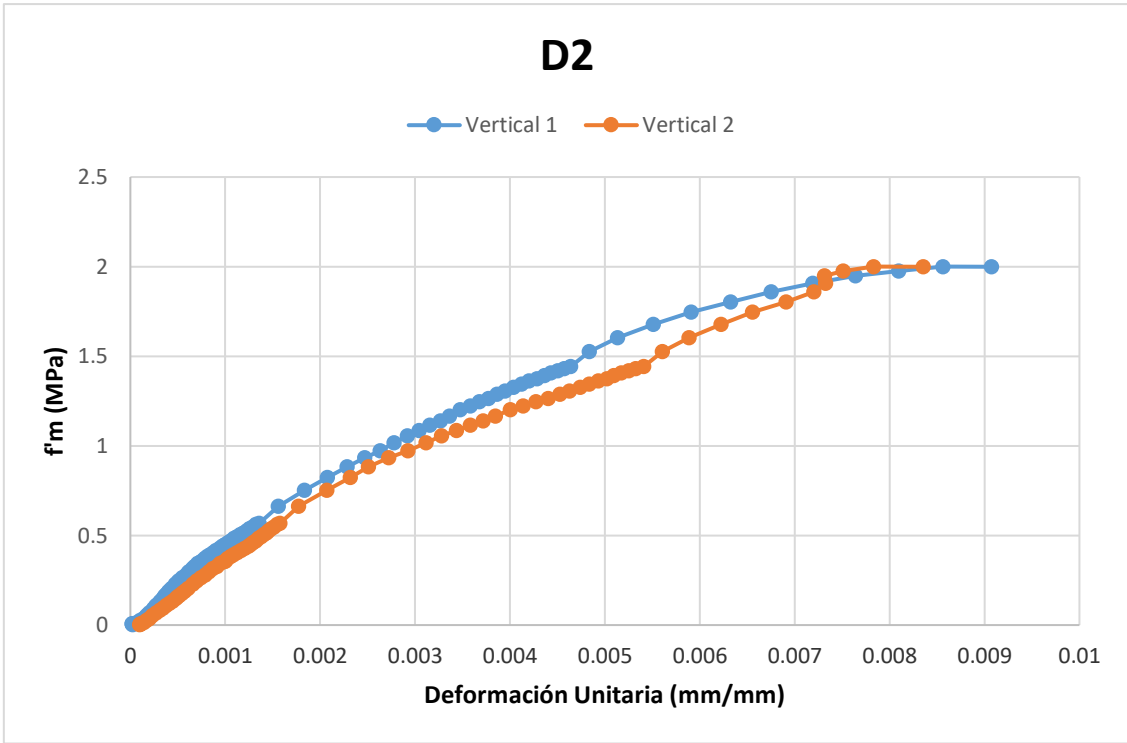
(Firma)
PAUL SIMBOS VILLALBA
JEFE DE LABORATORIO

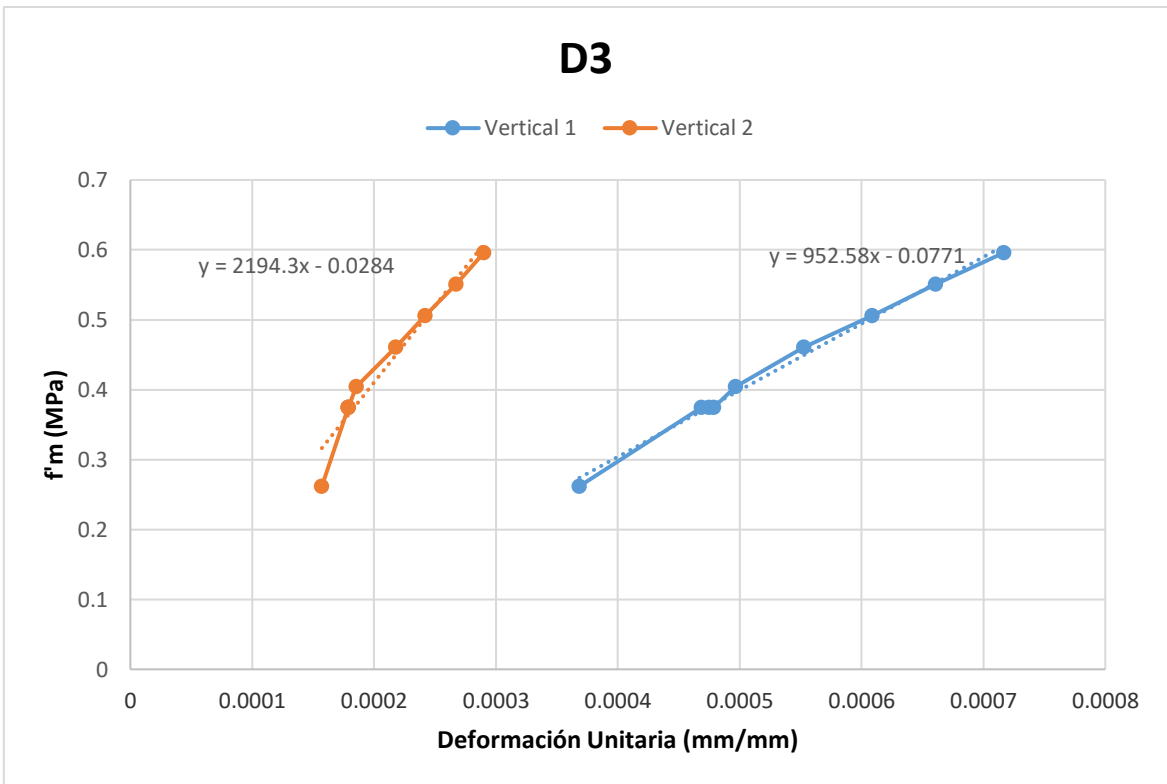
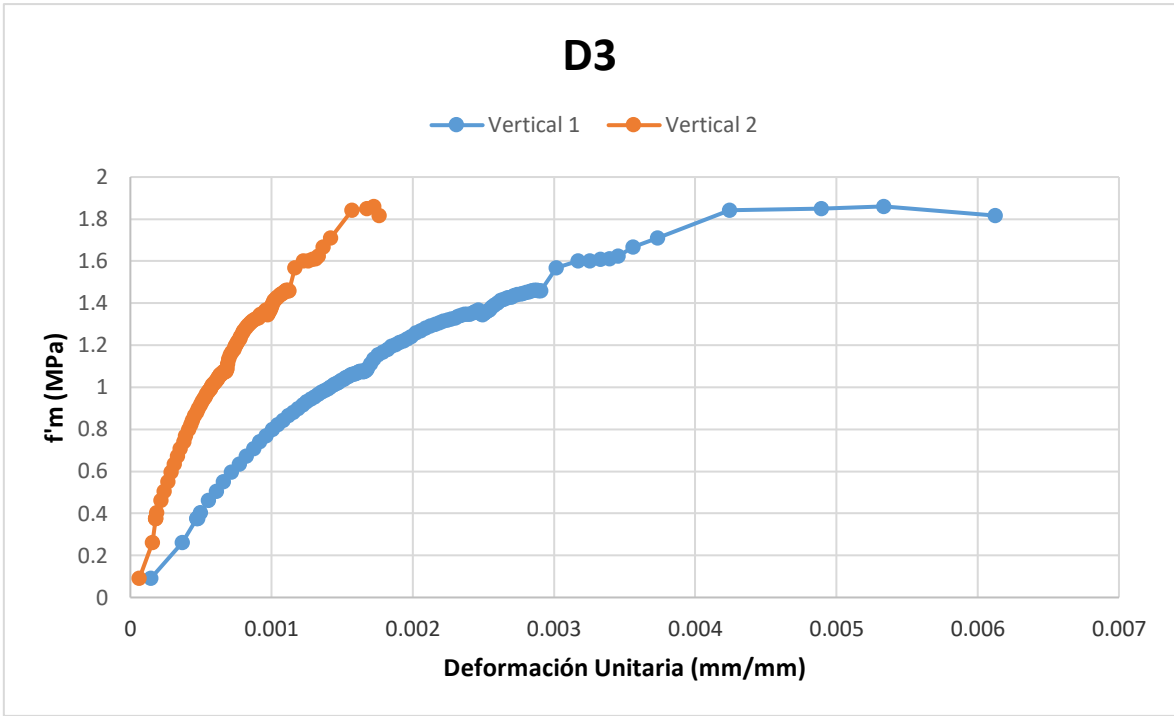


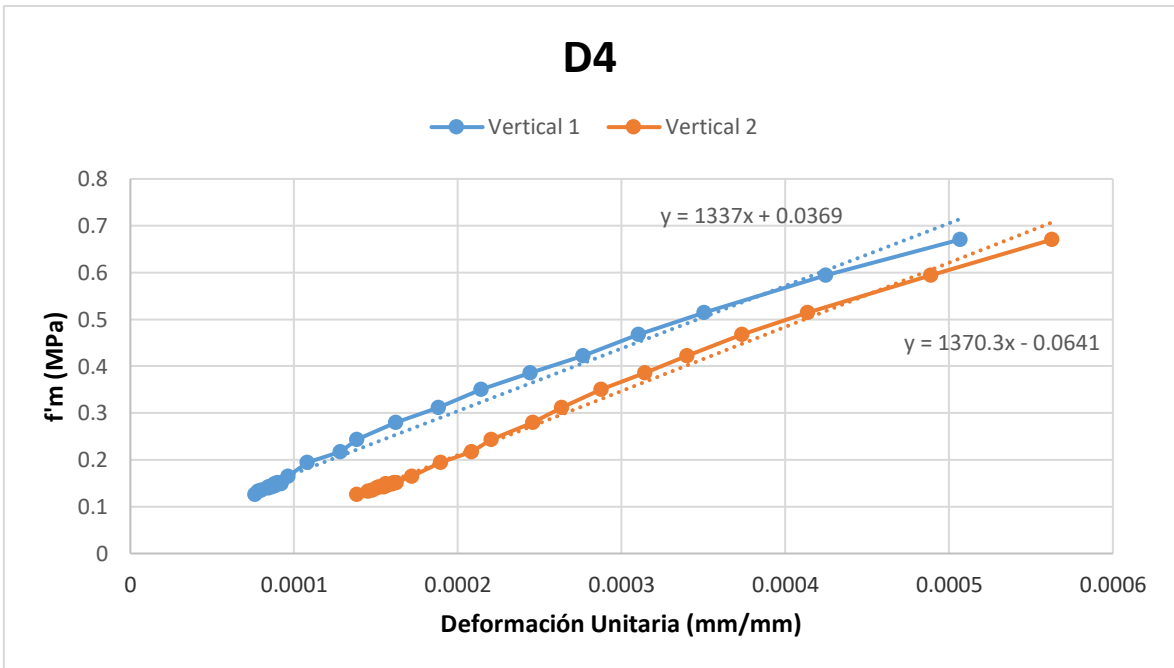
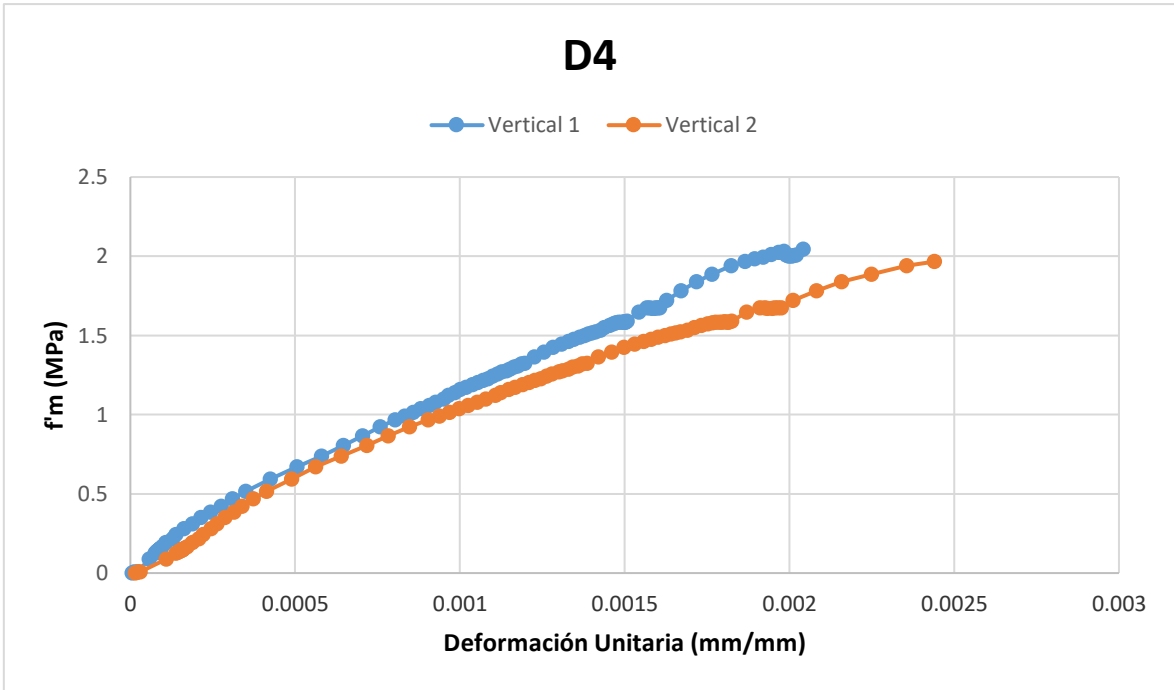
Telf.: 2976300
Ext.: 1609

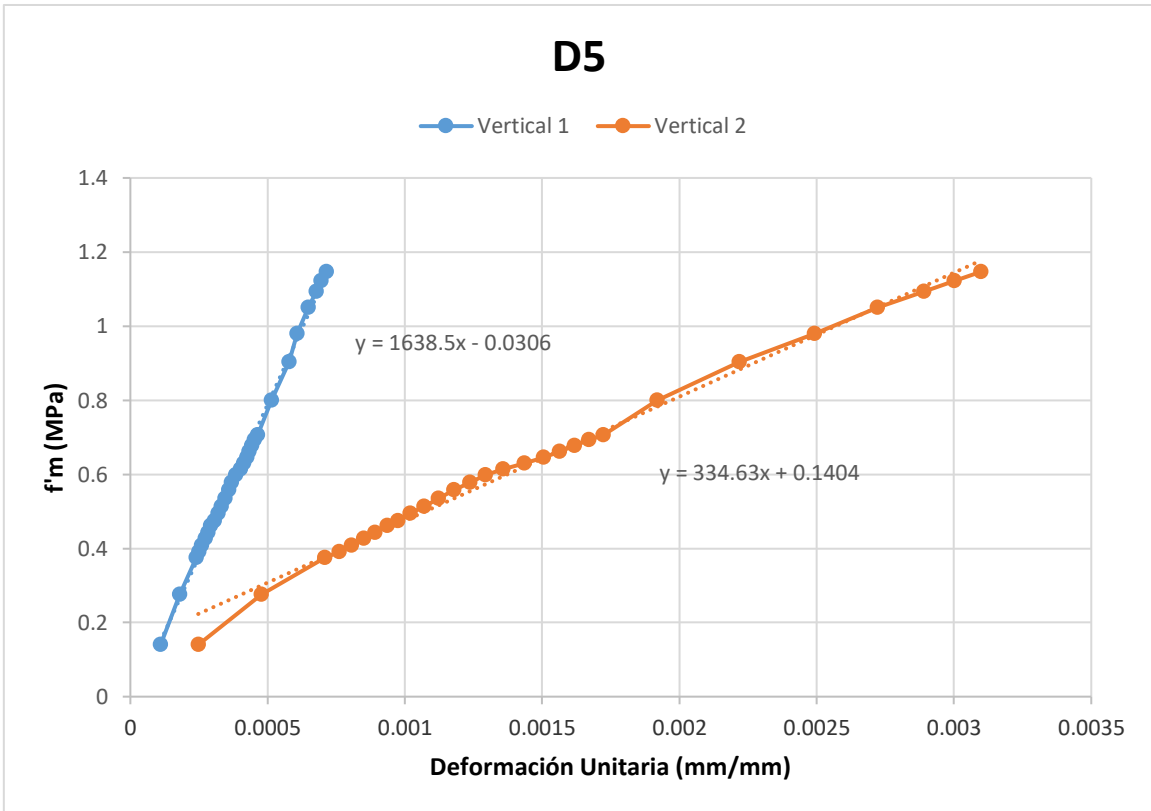
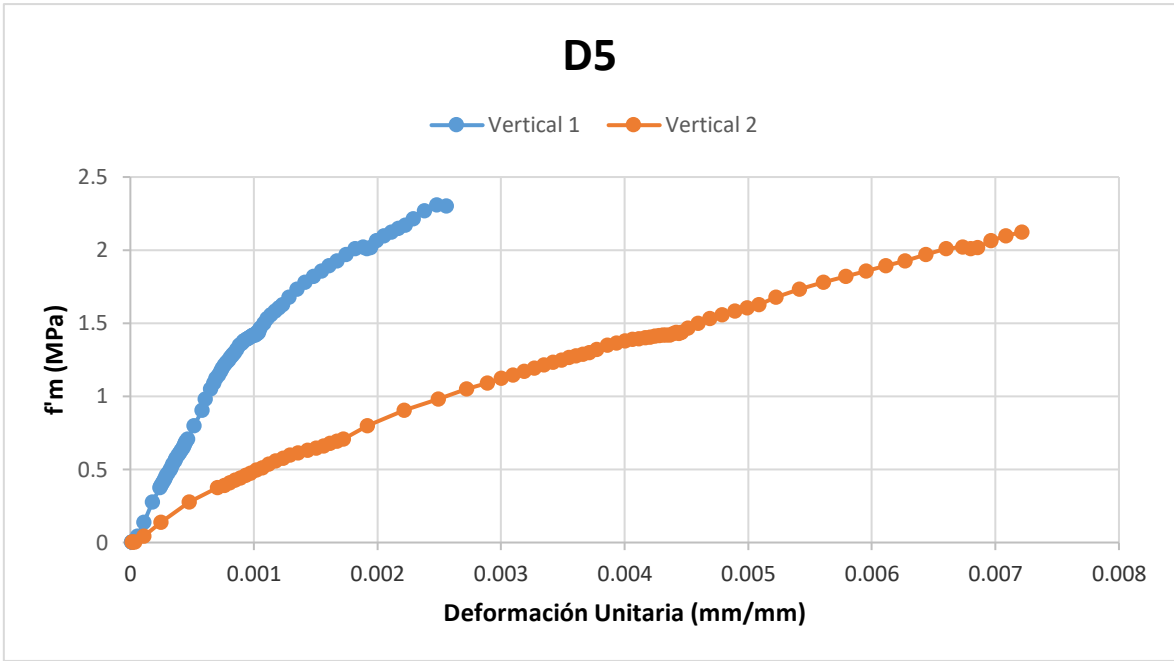
5.2 Anexo II: Gráficas de Resistencia a compresión vs Deformación Unitaria para el lote D

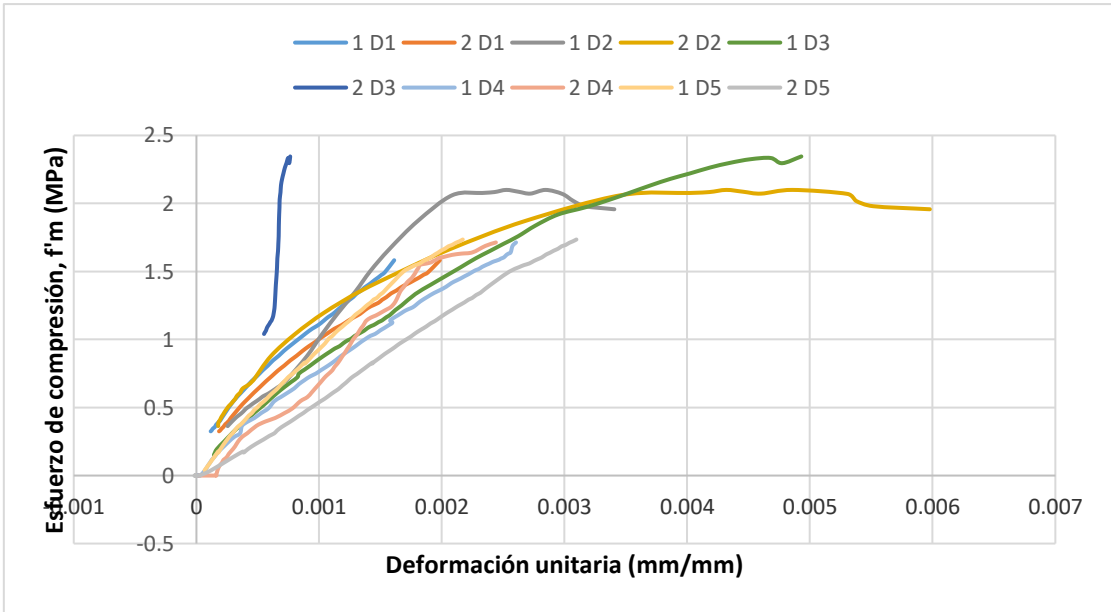




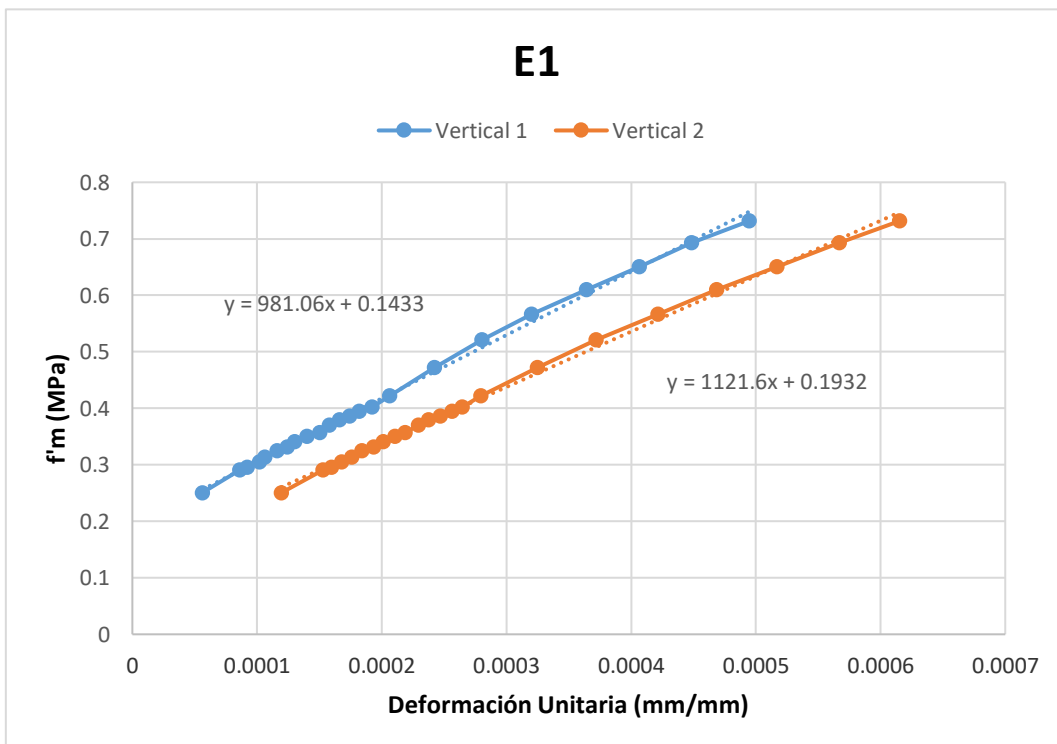
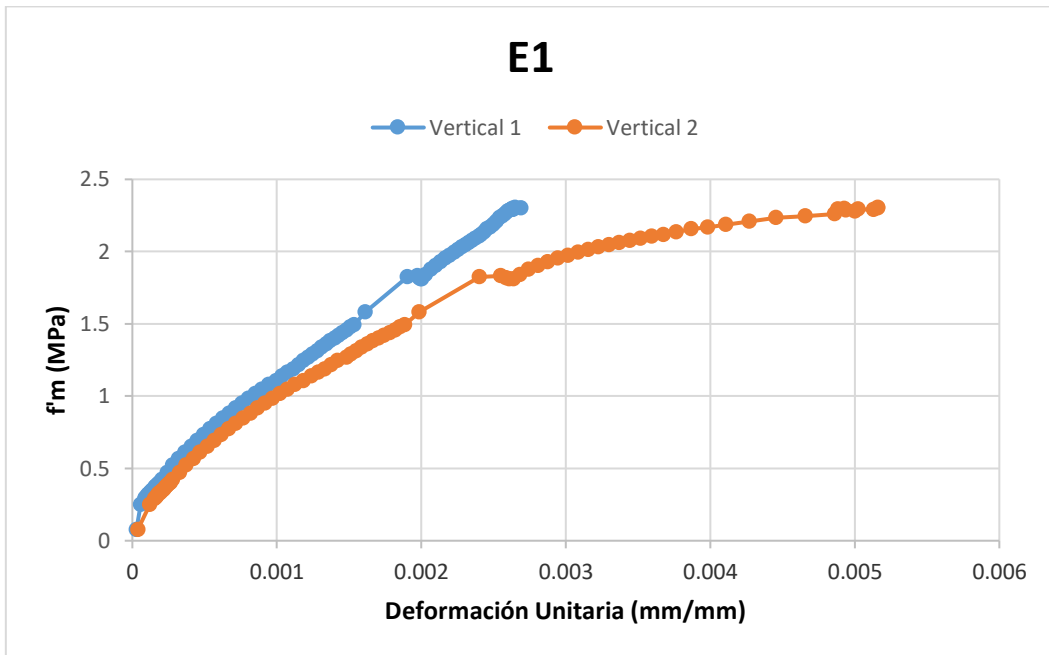


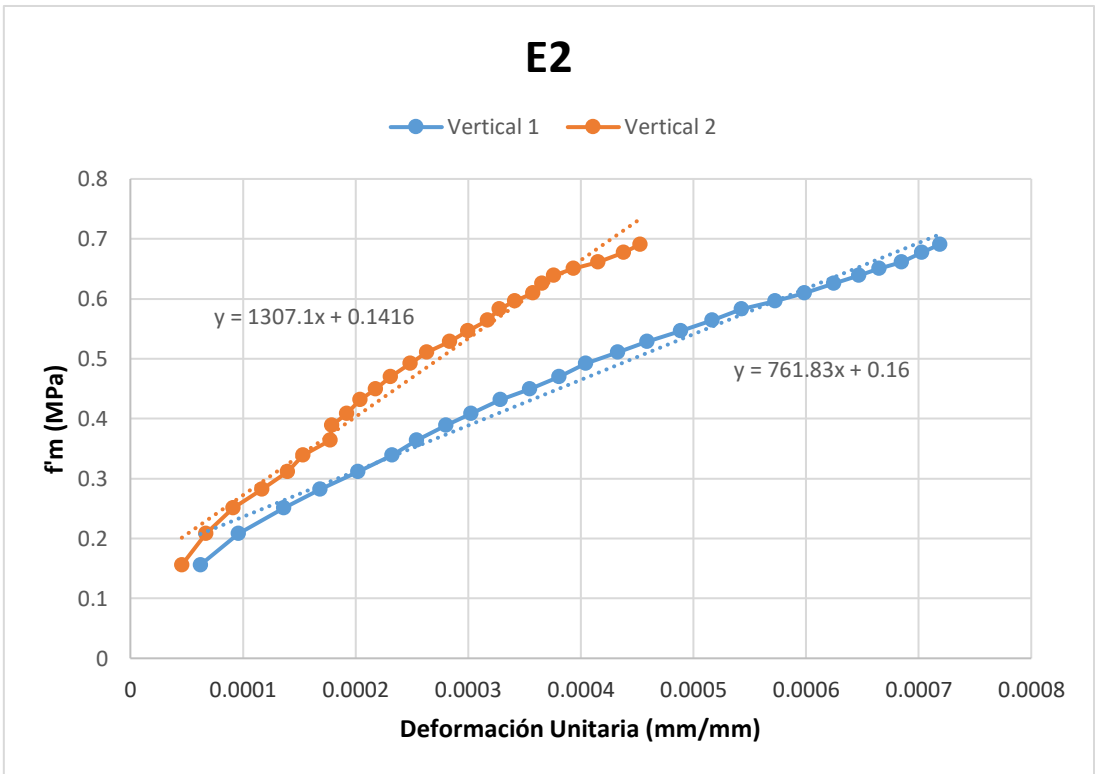
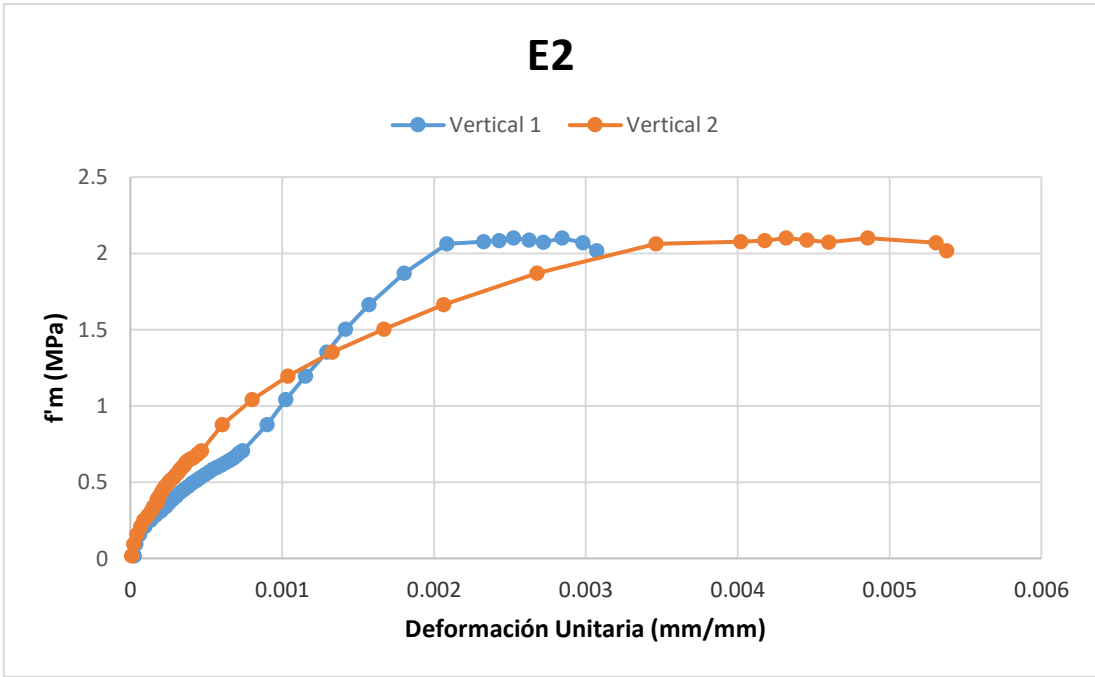


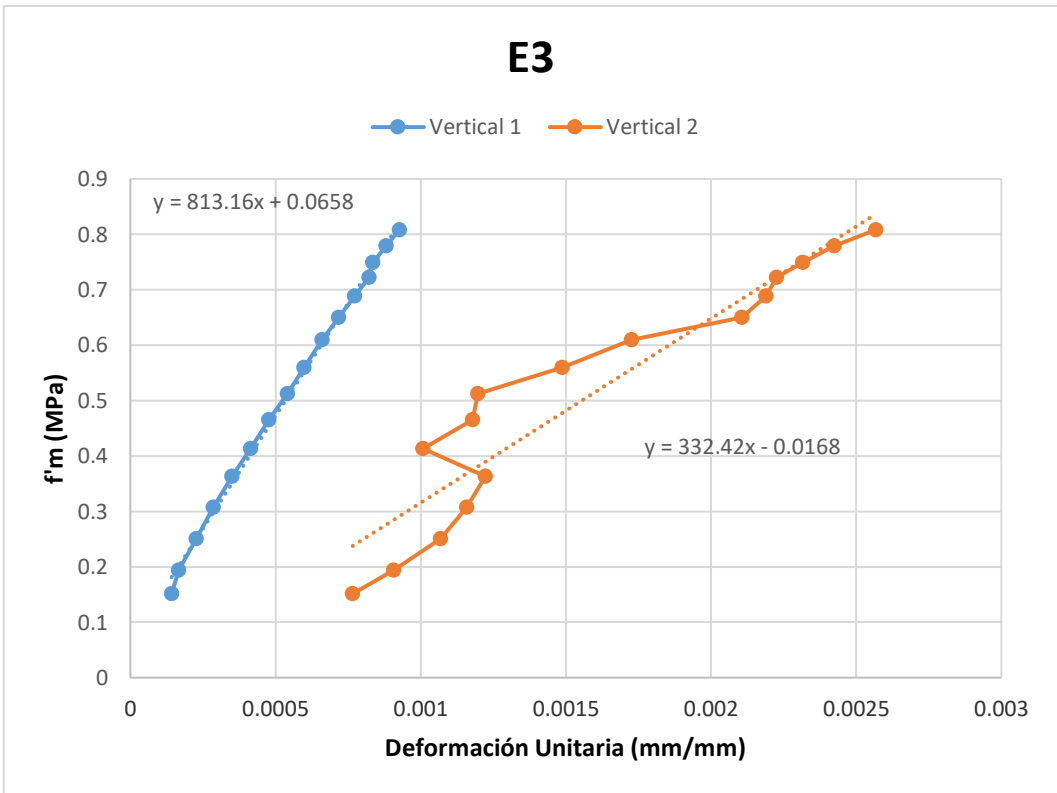
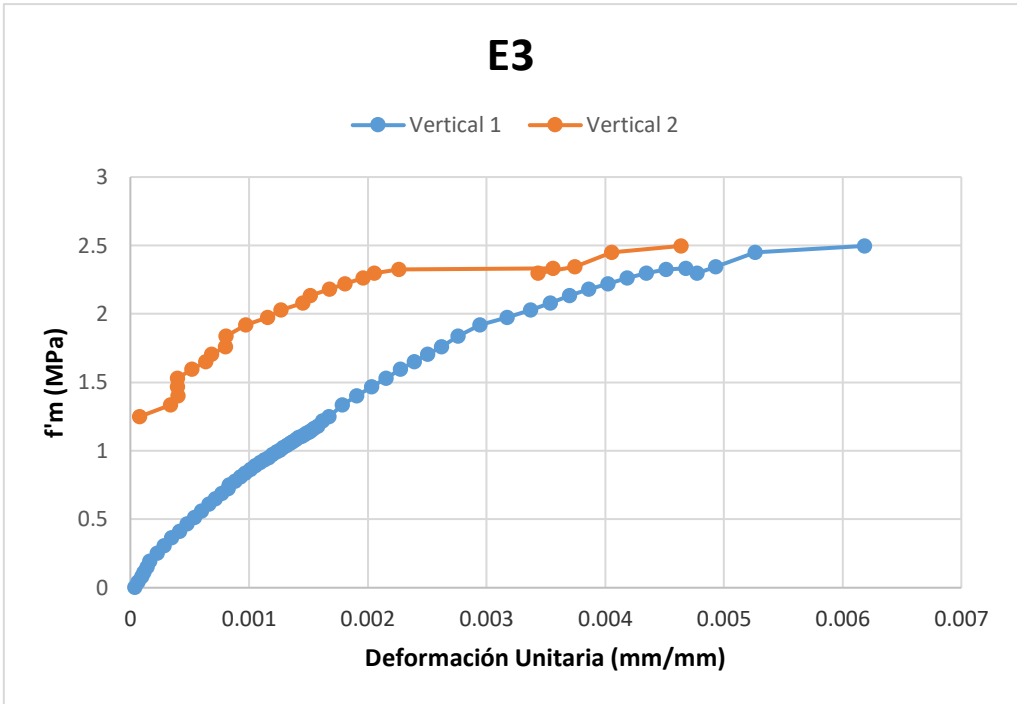


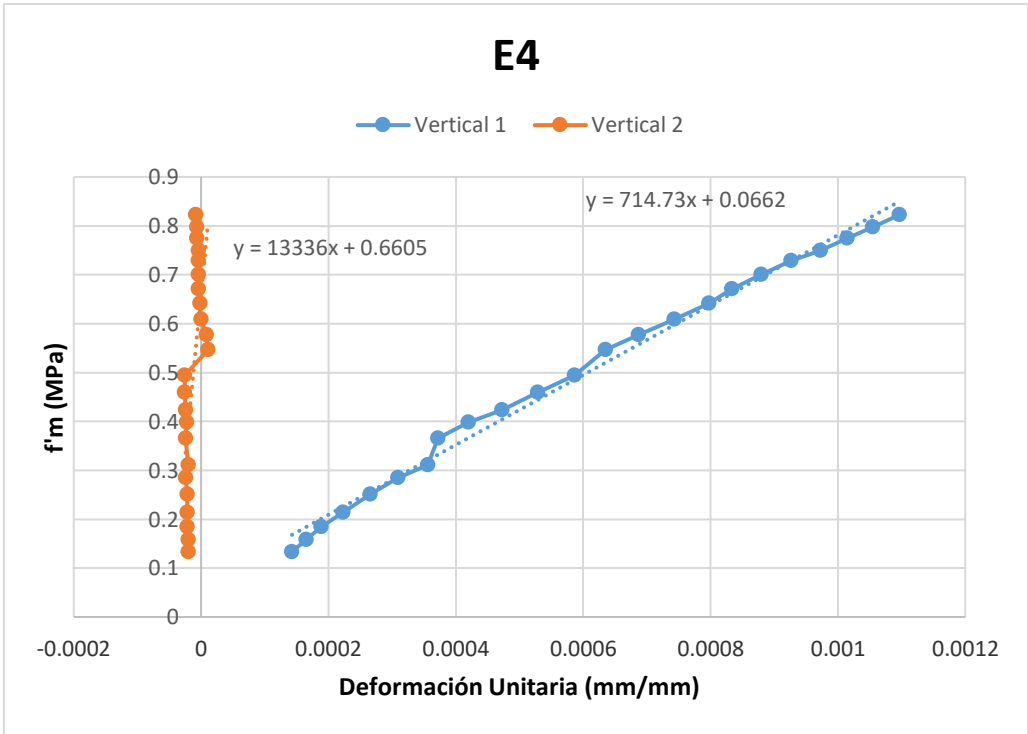
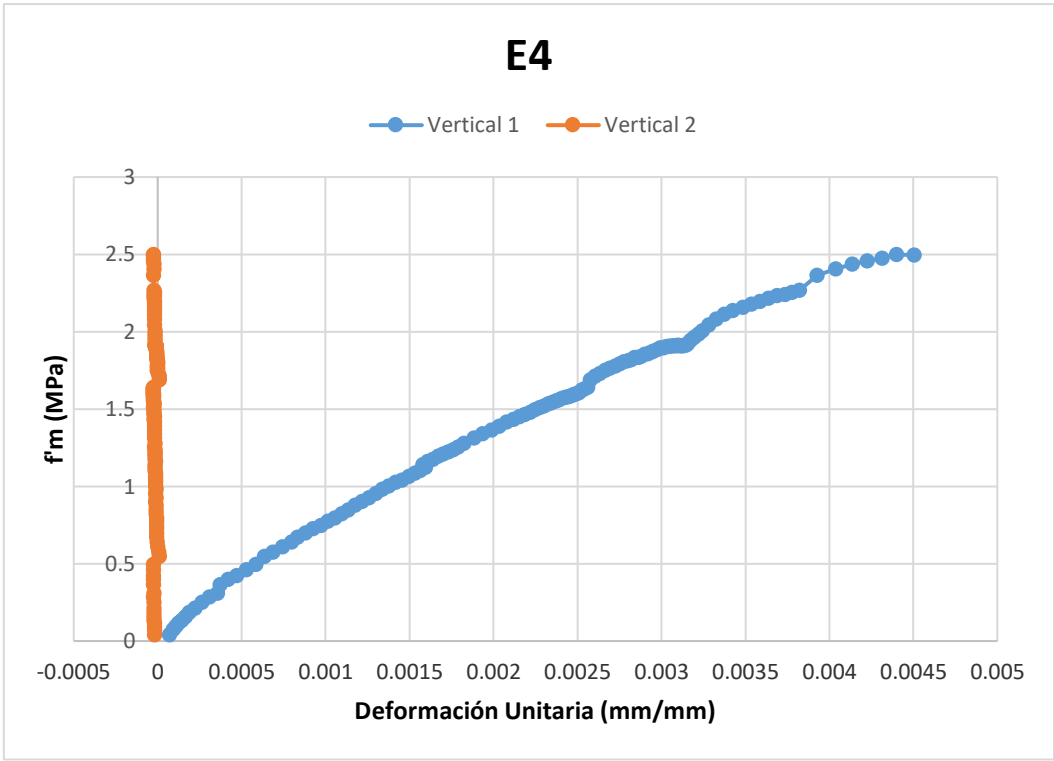


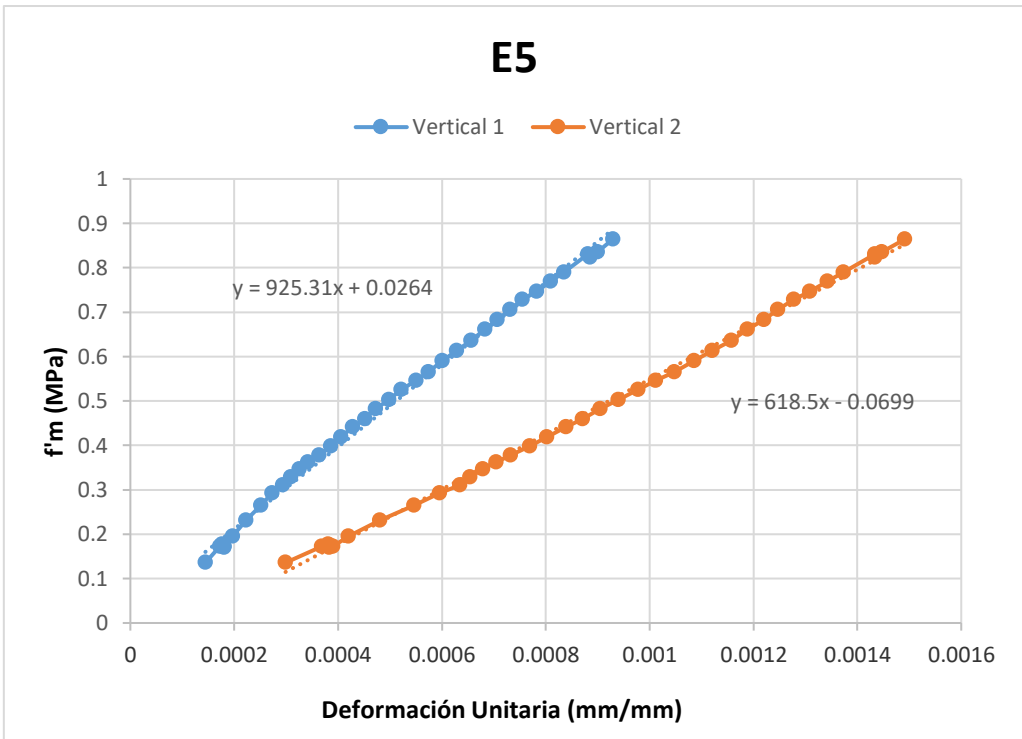
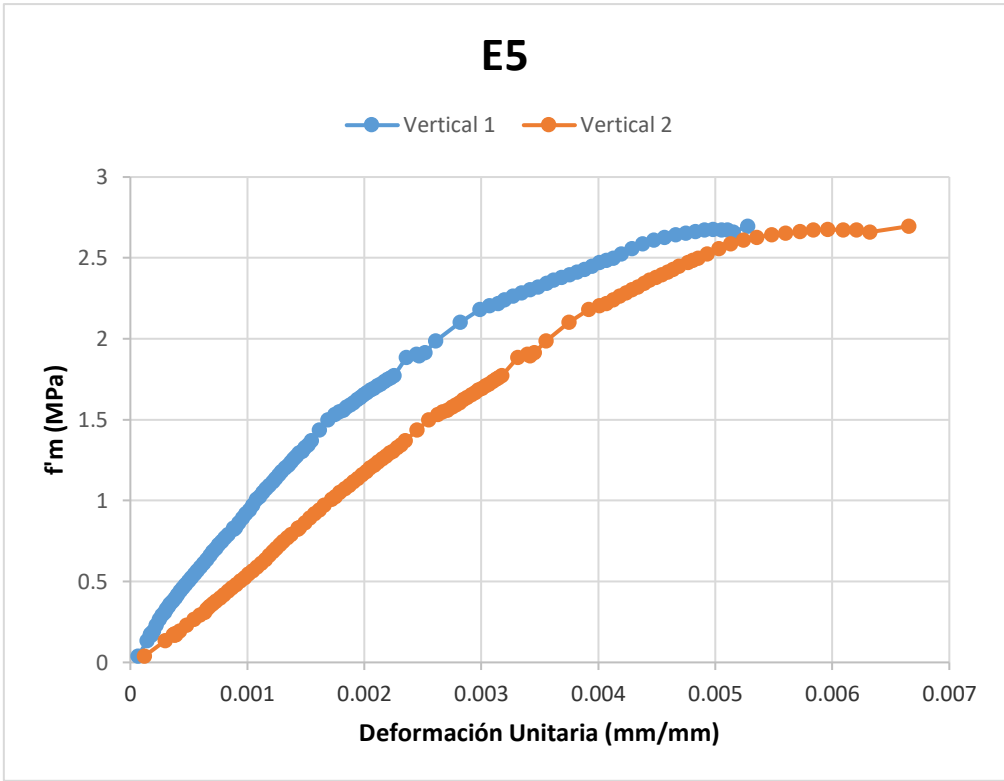
5.3 Anexo III: Gráficas de Resistencia a compresión vs Deformación Unitaria para el lote E

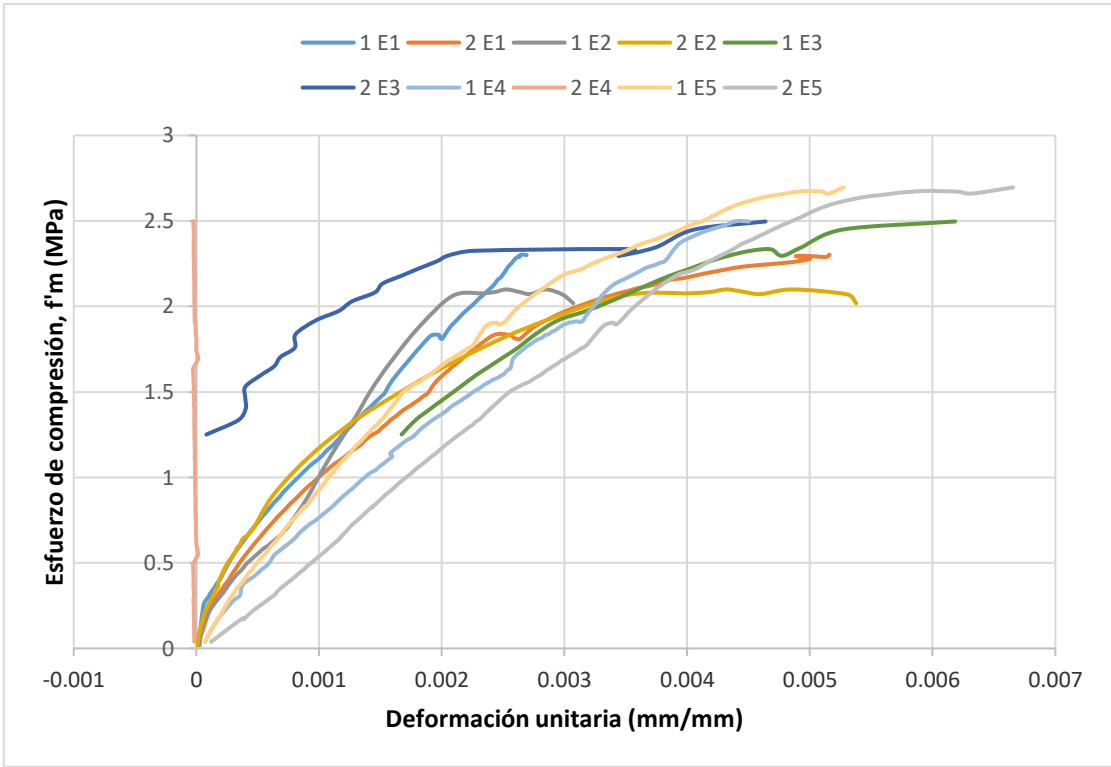




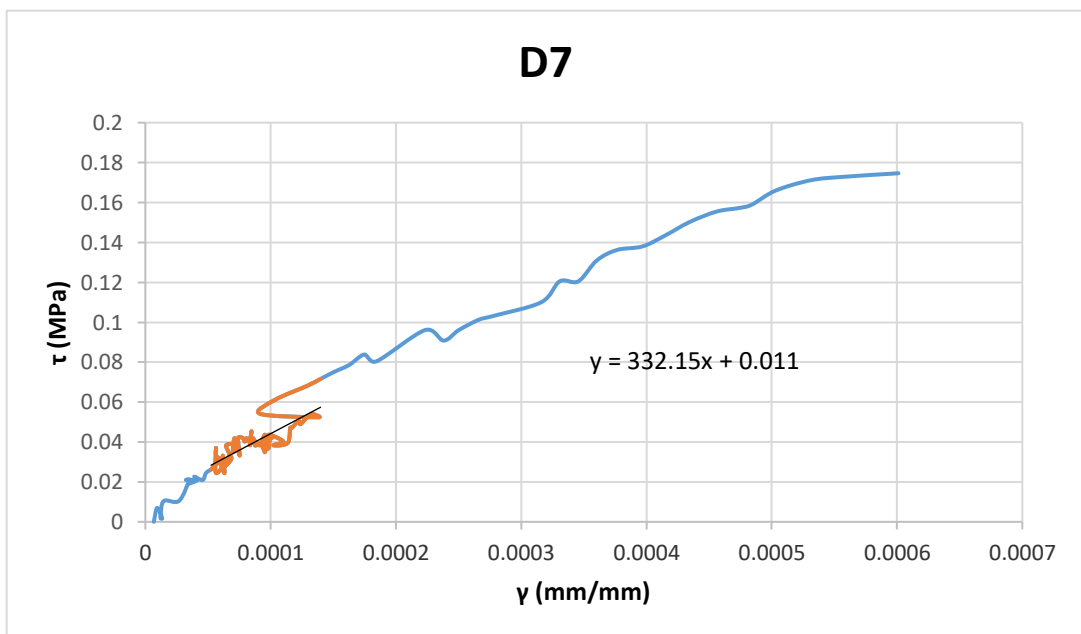
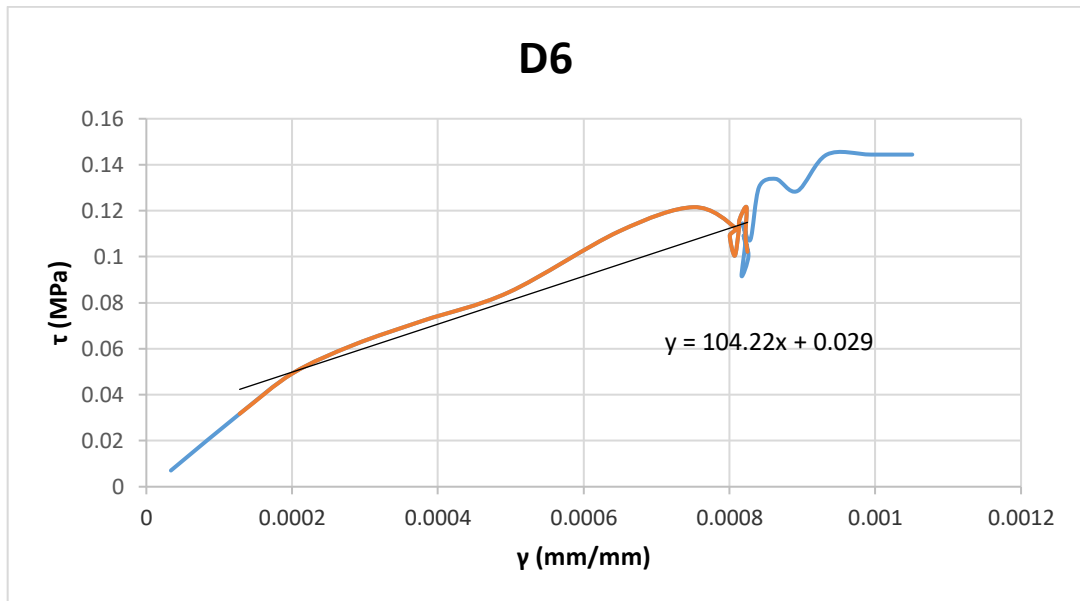




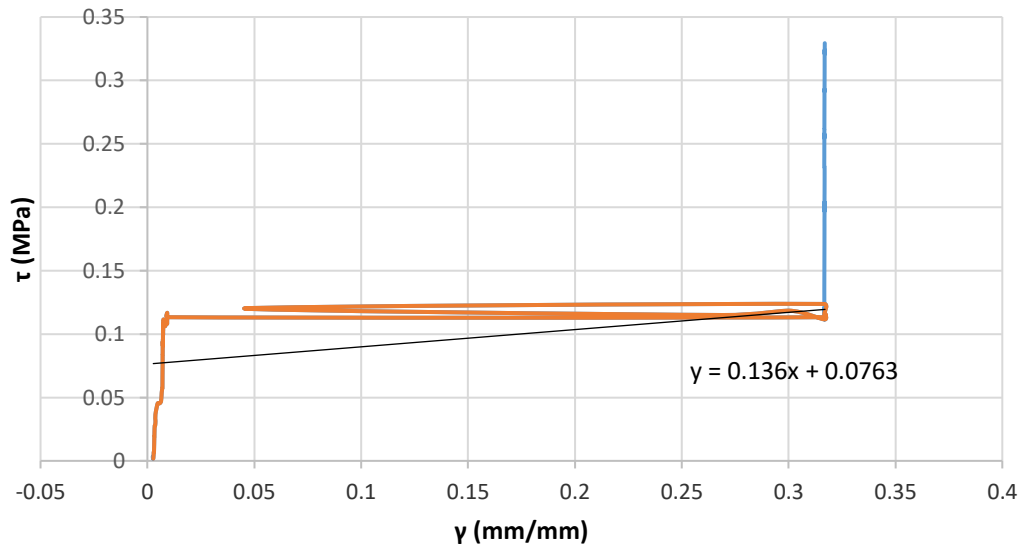




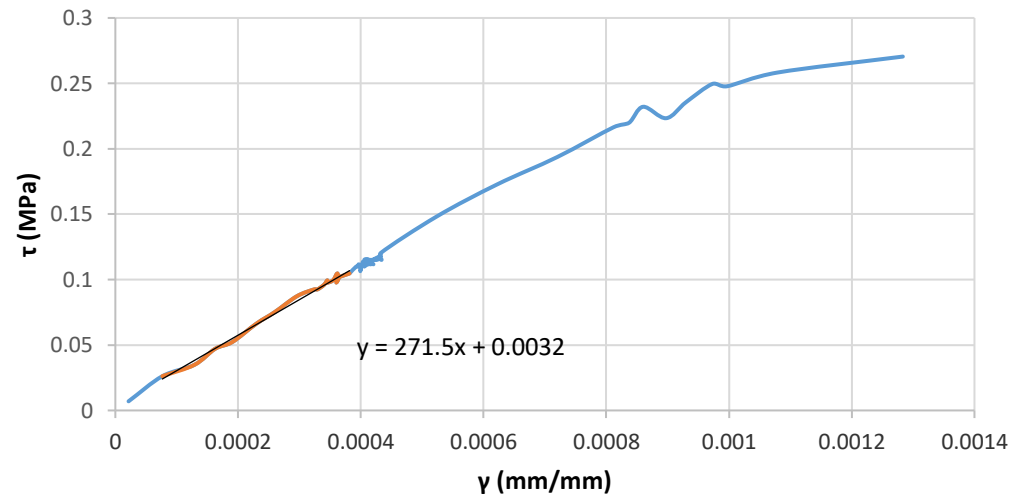
5.4 Anexo IV: Gráficas de Resistencia a tensión diagonal vs Deformación Unitaria para el lote D

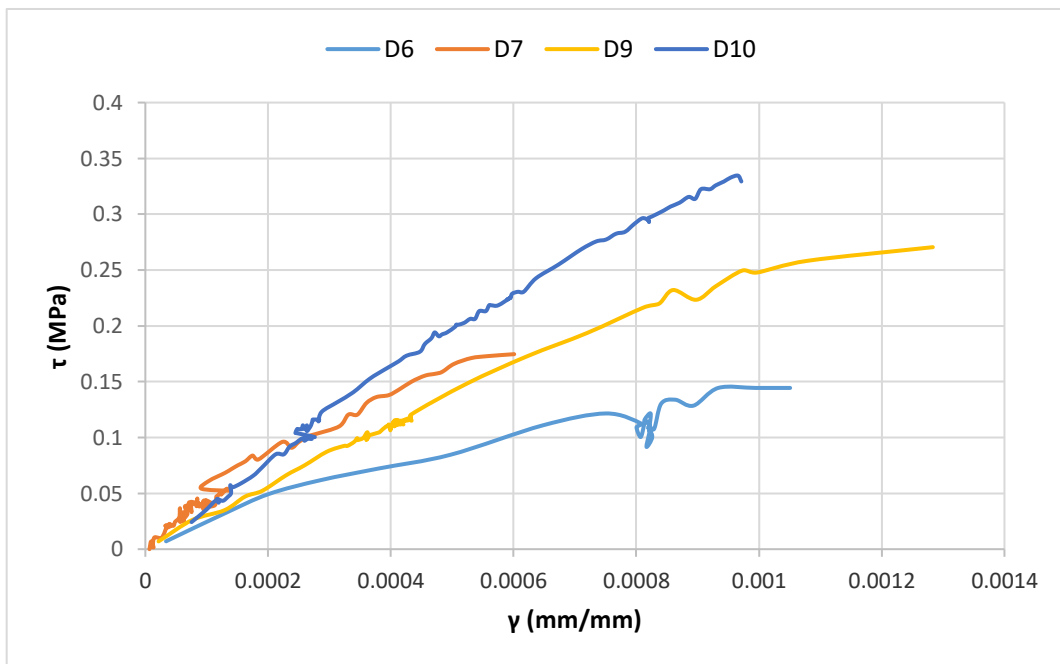
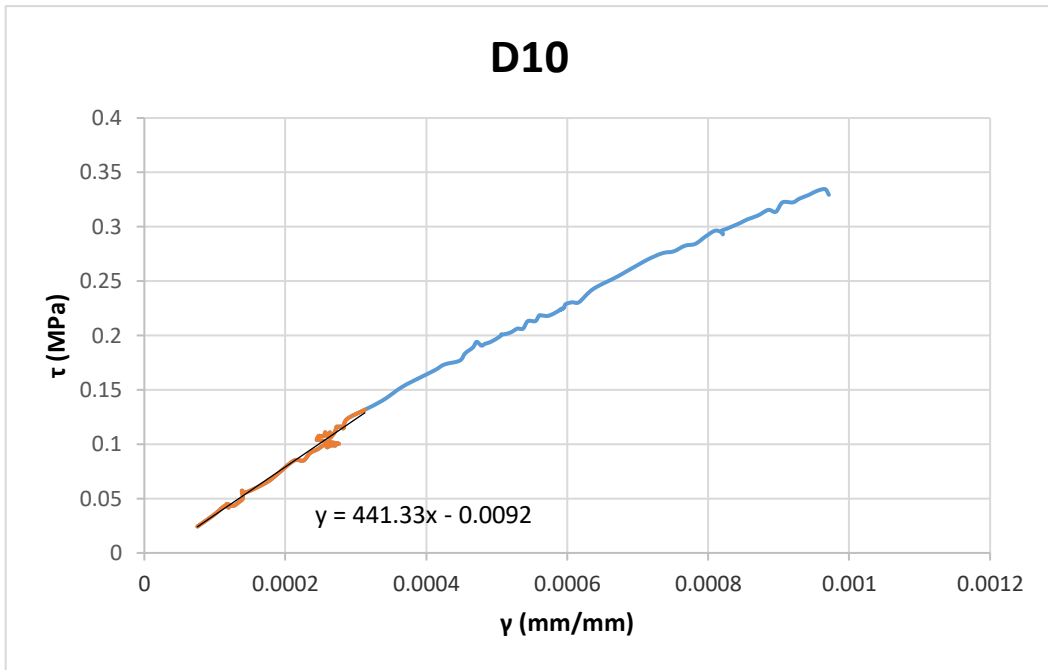


D8

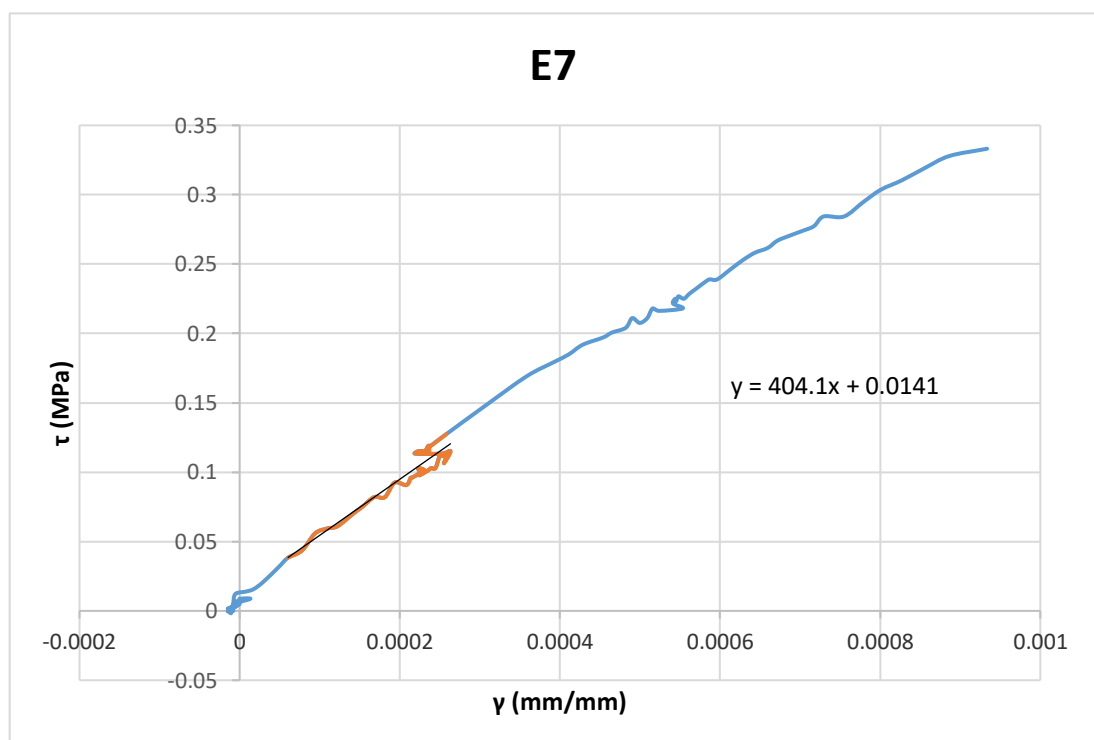
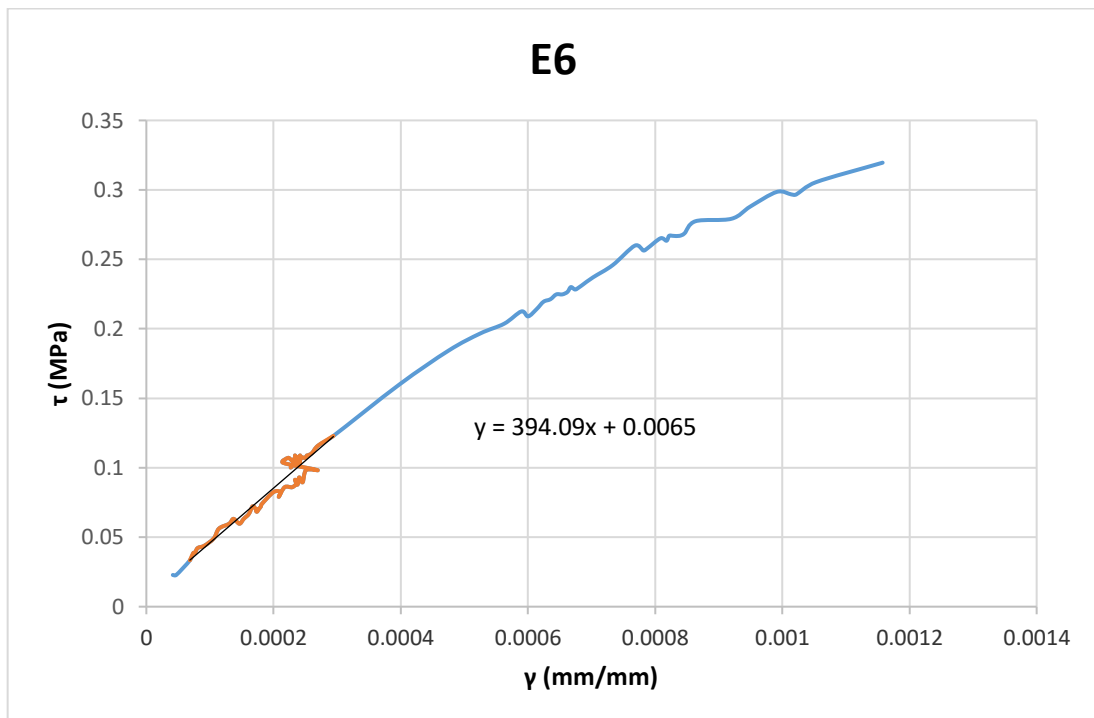


D9

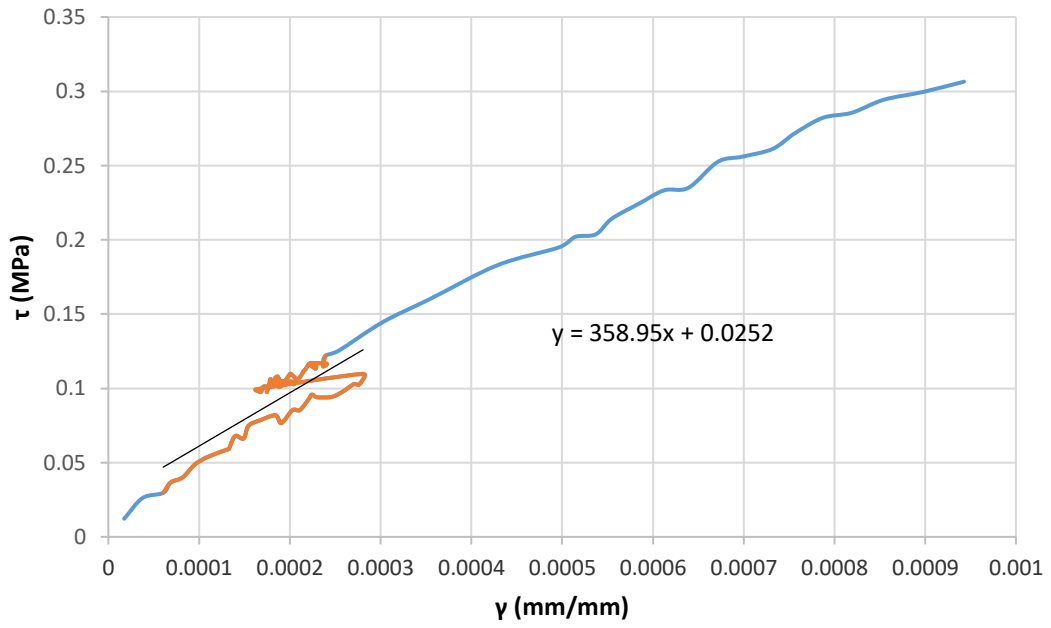




5.5 Anexo V: Gráficas de Resistencia a tensión diagonal vs Deformación Unitaria para el lote E



E8



E9

