



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA SEDE
AZOGUES**

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN**

INFORME FINAL DEL PROYECTO PROFESIONAL DE GRADO
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL GRADO ACADÉMICO DE
INGENIERO CIVIL

TEMA:

ANÁLISIS DE LADRILLOS ECOLÓGICOS FABRICADOS CON
SUELO LIMO-ARENOSO, CEMENTO, VIRUTA Y PAPEL, EN
BASE A RESISTENCIA, COSTO Y DEFORMACIÓN.

AUTOR:

FRANKLIN MAURICIO CAMPOVERDE BUSTOS

TUTOR:

ING. XAVIER NIETO CÁRDENAS. MGS

MAYO, 2018

DEDICATORIA

A mis padres, Franklin y María por su apoyo incondicional, comprensión y consejos desde el inicio hasta la culminación de mi carrera.

A mis hermanos Sebastián y Esteban que han sido mi motivación durante todo este tiempo transcurrido.

A las futuras generaciones pues sin duda cada nueva investigación ayuda a conseguir un mejor porvenir para el mundo en el que vivimos.

AGRADECIMIENTO

A la vida por haber puesto a personas increíbles en mí camino que con su simple presencia y palabras de apoyo me han ayudado a perseverar hasta cumplir mis objetivos académicos y personales.

A mis padres pues sin sus invaluable consejos y gran ejemplo no sería la persona que soy ahora, ningún logro sería posible sin ellos.

A la Universidad Católica de Cuenca y mis profesores que siempre tuvieron la predisposición para brindarme su ayuda en estos años de estudio, por sus conocimientos que me han servido para realizar esta investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTO	III
ÍNDICE DE CONTENIDO	IV
ÍNDICE DE TABLAS.....	VI
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VIII
RESUMEN.....	X
ABSTRACT	XI
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. EL PROBLEMA.....	2
1.2. OBJETIVOS.....	3
1.2.1. Objetivo General	3
1.2.2. Objetivos Específicos.....	3
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	4
1.4. HIPÓTESIS	5
1.5. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	6
1.5.1. Población.....	6
1.5.2. Muestra.....	6
CAPÍTULO II	8
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	8
2.1. MATERIALES.....	8
2.1.1. El suelo en la construcción.....	8
2.1.2. Cemento Portland.....	15
2.1.3. El agua.....	17
2.2. ENSAYOS.....	18
2.2.1. Ensayo de absorción.....	18
2.2.2. Ensayo de resistencia a la compresión simple	19
CAPÍTULO III.....	21
METODOLOGÍA	21
3.1. IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DEL SUELO.....	21
3.1.1. Determinación del límite líquido	21
3.1.2. Determinación del límite plástico	23
3.1.3. Análisis granulométrico	25
3.1.4. Clasificación AASHTO	26
3.2. MUESTREO Y PREPARACIÓN DE LA VIRUTA	26
3.2.1. Saturación del material.....	27
3.3. MUESTREO Y PREPARACIÓN DEL PAPEL.....	27
3.3.1. Saturación del material.....	28

3.3.2. Homogenización	28
3.4. DOSIFICACIÓN Y ELABORACIÓN DE LOS LADRILLOS	29
3.4.1. Procedimiento	30
3.4.2. Dosificaciones	29
CAPÍTULO IV	33
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	33
4.1. ANÁLISIS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE Y DEFORMACIÓN DE LADRILLOS ECOLÓGICOS	33
4.2. ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LADRILLOS TRADICIONALES	51
4.3. ANÁLISIS DE LA ABSORCIÓN DE LADRILLOS.....	52
4.4. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	53
4.5. ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE COSTOS.....	57
4.6. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS	59
CAPÍTULO V.....	60
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	60
5.1. CONCLUSIONES.....	60
5.2. RECOMENDACIONES	61
BIBLIOGRAFÍA.....	63
ANEXOS	65
INSTRUMENTOS UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN	65
EVIDENCIAS DEL PROCEDIMIENTO	66
LADRILLOS ECÓLOGICOS ACABADOS.....	67
ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN	68
LINKS: VIDEOS DE LOS ENSAYOS A COMPRESIÓN SIMPLE	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tamaños de las aberturas de los tamices INEN y sus equivalencias con la norma A.S.T.M. E11	10
Tabla 2. Contenido de agua del suelo natural	21
Tabla 3. Contenido de agua del suelo más arena	22
Tabla 4. Límite plástico del suelo natural	24
Tabla 5. Límite plástico del suelo más arena	24
Tabla 6. Granulometría del suelo natural	25
Tabla 7. Granulometría del suelo más arena	25
Tabla 8. Clasificación AASHTO del material	26
Tabla 9. Volúmenes de material necesario para fabricar una unidad de ladrillo ecológico.	30
Tabla 10. Esfuerzo a compresión simple ladrillo, curado en pileta, con 40% de viruta	33
Tabla 11. Esfuerzo a compresión simple ladrillo, sin curado en pileta, con 40% de viruta	34
Tabla 12. Esfuerzo a compresión simple ladrillo, curado en pileta, con 50% de viruta	35
Tabla 13. Esfuerzo a compresión simple ladrillo, sin curado en pileta, con 50% de viruta	36
Tabla 14. Esfuerzo a compresión simple ladrillo, curado en pileta, con 60% de viruta	37
Tabla 15. Esfuerzo a compresión simple ladrillo, sin curado en pileta, con 60% de viruta	38
Tabla 16. Esfuerzo a compresión simple ladrillo, curado en pileta, con 40% de papel	39
Tabla 17. Esfuerzo a compresión simple ladrillo, sin curado en pileta, con 40% de papel	40
Tabla 18. Esfuerzo a compresión simple ladrillo, curado en pileta, con 50% de papel	41
Tabla 19. Esfuerzo a compresión simple ladrillo, sin curado en pileta, con 50% de papel	42
Tabla 20. Esfuerzo a compresión simple ladrillo, curado en pileta, con 60% de papel	43
Tabla 21. Esfuerzo a compresión simple ladrillo, sin curado en pileta, con 60% de papel	44
Tabla 22. Esfuerzo a compresión simple ladrillo, curado en pileta, con 40% de viruta más papel	45
Tabla 23. Esfuerzo a compresión simple ladrillo, sin curado en pileta, con 40% de viruta más papel	46
Tabla 24. Esfuerzo a compresión simple ladrillo, curado en pileta, con 50% de viruta más papel	47
Tabla 25. Esfuerzo a compresión simple ladrillo, sin curado en pileta, con 50% de viruta más papel	48

Tabla 26. Esfuerzo a compresión simple ladrillo, curado en pileta, con 60% de viruta más papel	49
Tabla 27. Esfuerzo a compresión simple ladrillo, sin curado en pileta, con 60% de viruta más papel	50
Tabla 28. Esfuerzo a compresión simple, ladrillo tradicional cocido	51
Tabla 29. Porcentaje de absorción de los ladrillos	52
Tabla 30. Peso de los ladrillos ensayados	56
Tabla 31. Costo de fabricación de un ladrillo con 40% de viruta	58
Tabla 32. Costo de fabricación de un ladrillo con 50% de viruta	58

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Escala semilogarítmica para determinar el límite líquido.....	13
Ilustración 2. Clasificación AASHTO para suelos	15
Ilustración 3. Contenido de humedad del suelo natural según el número de golpes	22
Ilustración 4. Contenido de humedad del suelo más arena según el número de golpes	23
Ilustración 5. Viruta en proceso de saturación	27
Ilustración 6. Papel en proceso de saturación	28
Ilustración 7. Homogenización del papel bond.....	29
Ilustración 8. Mezcla en seco de cemento, suelo más arena	31
Ilustración 9. Homogenización de todos los materiales.....	31
Ilustración 10. Ladrillos desmoldados con presencia de placa para nivelación....	32
Ilustración 11. Esfuerzo vs. Deformación, ladrillo con 40% de viruta, curado en pileta.....	33
Ilustración 12. Esfuerzo vs. Deformación, ladrillo con 40% de viruta, sin curado en pileta.	34
Ilustración 13. Esfuerzo vs. Deformación, ladrillo con 50% de viruta, curado en pileta.....	35
Ilustración 14. Esfuerzo vs. Deformación, ladrillo con 50% de viruta, sin curado en pileta.	36
Ilustración 15. Esfuerzo vs. Deformación, ladrillo con 60% de viruta, curado en pileta.....	37
Ilustración 16. Esfuerzo vs. Deformación, ladrillo con 60% de viruta, sin curado en pileta.	38
Ilustración 17. Esfuerzo vs. Deformación, ladrillo con 40% de papel, curado en pileta.....	39
Ilustración 18. Esfuerzo vs. Deformación, ladrillo con 40% de papel, sin curado en pileta.	40
Ilustración 19. Esfuerzo vs. Deformación, ladrillo con 50% de papel, curado en pileta.....	41
Ilustración 20. Esfuerzo vs. Deformación, ladrillo con 50% de papel, sin curado en pileta.	42
Ilustración 21. Esfuerzo vs. Deformación, ladrillo con 60% de papel, curado en pileta.....	43
Ilustración 22. Esfuerzo vs. Deformación, ladrillo con 60% de papel, sin curado en pileta.	44
Ilustración 23. Esfuerzo vs. Deformación, ladrillo con 40% de viruta más papel, curado en pileta.	45
Ilustración 24. Esfuerzo vs. Deformación, ladrillo con 40% de viruta más papel, sin curado en pileta.....	46
Ilustración 25. Esfuerzo vs. Deformación, ladrillo con 50% de viruta más papel, curado en pileta.	47
Ilustración 26. Esfuerzo vs. Deformación, ladrillo con 50% de viruta más papel, sin curado en pileta.....	48

Ilustración 27. Esfuerzo vs. Deformación, ladrillo con 60% de viruta más papel, curado en pileta.	49
Ilustración 28. Esfuerzo vs. Deformación, ladrillo con 60% de viruta más papel, sin curado en pileta.....	50
Ilustración 29. Esfuerzo vs. Deformación, ladrillo tradicional cocido	51
Ilustración 30. Comparación de la absorción de los ladrillos	53
Ilustración 31. Esfuerzo vs. Deformación, ladrillo tradicional y ladrillos con viruta	54
Ilustración 32. Esfuerzo vs. Deformación, ladrillo tradicional y ladrillos con papel	55
Ilustración 33. Esfuerzo vs. Deformación, ladrillo tradicional y ladrillos con viruta más papel.....	55
Ilustración 34. Fracaso de mampostería en Escuela del Milenio – Pedernales Ecuador	57

RESUMEN

ANÁLISIS DE LADRILLOS ECOLÓGICOS FABRICADOS CON SUELO LIMO-ARENOSO, CEMENTO, VIRUTA Y PAPEL, EN BASE A RESISTENCIA, COSTO Y DEFORMACIÓN.

Los procesos de fabricación de ladrillos tradicionales generan un impacto ambiental negativo. Este trabajo de grado detalla el proceso de fabricación de ladrillos ecológicos utilizando suelo limoso, cemento portland, viruta de madera y papel bond, para luego someterlos a compresión y así obtener su resistencia, y deformación para posteriormente analizar qué dosificación obtiene mejores resultados. Para lograrlo se utilizó un enfoque cuantitativo-experimental-descriptivo que evidencia de manera clara el procedimiento empleado para las dosificaciones de los materiales, los ensayos de resistencia y el cálculo de los precios unitarios de los ladrillos. Se demostró que ladrillos con un porcentaje de 40% y 50% de viruta de madera logran superar la resistencia de un ladrillo tradicional en 28% y 22% respectivamente, además poseen la capacidad de deformarse mientras siguen recibiendo carga a diferencia de un ladrillo tradicional que se fractura, sin embargo, a pesar de la superioridad en resistencia y deformación, su costo es superior al de un ladrillo tradicional.

PALABRAS CLAVE: compresión, deformación, dosificaciones, precios unitarios suelo limoso, viruta de madera.

ABSTRACT

ANALYSIS OF ECOLOGICAL BRICKS MANUFACTURED WITH SILT-SANDY SOIL, CEMENT, WOOD-LEFTOVERS AND PAPER, BASED ON HARDNESS, COST AND DISFIGUREMENT

The manufacturing processes of traditional bricks cause a negative impact on the environment. This graduation work details the manufacturing process of ecological-bricks done by using silty soil, portland cement, wood-remains and bond paper, then they go through a compressive-strength test in order to determinate their hardness, and evaluate their disfigurement, in other words, how their shape changes or adapts. Later they will be analyzed to decide which dosage obtains better results. To achieve this, a quantitative-experimental-descriptive approach is needed that clearly demonstrates the procedure used for the dosages of the materials, the compressive-strength tests and the calculation of the unit prices of the bricks. It was shown that bricks with a percentage of 40% and 50% of wood-leftovers managed to overcome the compressive strength of a traditional brick in 28% and 22% respectively. Besides this, they have the capability to deform themselves while receiving weight which differences them from a traditional brick that fractures, however, despite the superiority in compressive strength and disfigurement, their cost is higher than traditional bricks.

KEYWORDS: compressive-strength, disfigurement, dosages, unit prices, silt-sandy soil, wood-leftovers.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Es de conocimiento general que el planeta atraviesa un momento crítico desde el punto de vista ecológico, la fabricación de materiales de construcción tradicionales ocupa un rol importante en ello, pues para su obtención se consumen grandes recursos comúnmente irrecuperables, además de generar emisiones con un impacto ambiental negativo. El crecimiento demográfico induce a una mayor demanda de edificaciones, por ello resulta indispensable buscar fuentes alternativas que puedan reemplazar a los materiales tradicionales o puedan combinarse con éstos para obtener materiales más económicos y con mejores propiedades.

El objetivo general de esta investigación es fabricar un ladrillo ecológico utilizando cemento, suelo limo-arenoso, viruta de madera y papel bond, buscando que aporten propiedades beneficiosas en resistencia, economía y durabilidad.

Para conseguir esto se deberán cumplir los siguientes objetivos:

- Encontrar una dosificación apropiada para los ladrillos ecológicos mediante ensayos de resistencia en el laboratorio.
- Identificar los costos de producir ladrillos ecológicos y el costo de ladrillos tradicionales.
- Analizar comparativamente según su costo, resistencia y deformación los ladrillos ecológicos frente a los ladrillos tradicionales.

La metodología que se aplicó es una modalidad cuantitativa, con una categoría experimental y un diseño descriptivo, y comenzó con obtener los materiales que se utilizarán: viruta de madera, papel bond, cemento Portland y suelo limo-arenoso, los materiales se analizaron para determinar sus características físico-mecánicas, luego se fabricaron 3 tipos de ladrillos con diferentes dosificaciones de los materiales, se elaboraron y curaron los ladrillos de ensayo y se comprobaron las resistencias de los diseños de mezclas mediante su ruptura a los 28 días. Se obtuvieron unos resultados que evidencian la ventaja de utilizar ladrillos ecológicos en lugar de ladrillos tradicionales de arcilla cocida, además de minimizar el impacto ambiental negativo.

1.1. EL PROBLEMA

La construcción de edificaciones y viviendas es un aspecto fundamental en la actualidad debido al significativo crecimiento demográfico y poblacional que provoca un aumento en la demanda de materiales de construcción, es por ello la importancia de buscar materiales alternativos que sustituyan a los tradicionales, reduzcan costos, brinden seguridad y disminuyan el impacto ambiental negativo, pues, diversos estudios han demostrado que la situación del medio ambiente es precaria, varias actividades humanas y, especialmente la obtención y fabricación de materiales de construcción producen un impacto ambiental negativo debido a diversos factores.

Un material de construcción muy utilizado para la fabricación de tabiques es el ladrillo, el cuál involucra en su fabricación la cocción de arcilla a grandes temperaturas produciendo un consumo excesivo de energía y recursos

irrecuperables, además de la generación de hollín y monóxido de carbono. Por dichas circunstancias nace la necesidad de buscar la manera de sustituir el ladrillo tradicional por un ladrillo ecológico que involucre en su fabricación materiales reciclados que sean comunes en nuestro medio y, además se eliminen ciertos procesos que no generen un excesivo consumo de recursos, puesto que generalmente son irre recuperables.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo General

Fabricar un ladrillo ecológico utilizando cemento, suelo limo-arenoso, viruta de madera y papel bond, buscando que aporten propiedades beneficiosas en resistencia, economía y durabilidad.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Encontrar una dosificación apropiada para los ladrillos ecológicos mediante ensayos de resistencia en el laboratorio.
- Identificar los costos de producir ladrillos tradicionales y ladrillos ecológicos.
- Analizar comparativamente según su costo, resistencia y deformación los ladrillos ecológicos frente a los ladrillos tradicionales.

1.3. JUSTIFICACIÓN

La viruta de madera y el papel son desperdicios comunes y abundantes en nuestro medio, la viruta de madera es un residuo que se obtiene en los aserríos, el papel lo encontramos como un desecho en establecimientos educativos, empresas, librerías, etc., y se busca la forma de reciclar estos materiales para darles un nuevo uso, ayudando a reducir el impacto ambiental negativo que se genera cuando se desechan. Estos materiales poseen una característica en común, que es su peso ligero, por lo que incluirlos en elementos como los ladrillos reduciría su peso, lo cual produciría beneficios constructivos y económicos.

Otra característica de la viruta de madera y el papel es su elasticidad, lo que ayudaría a que un ladrillo tenga una gran deformación en lugar de “explotar” bruscamente como lo haría un ladrillo normal al ser sometido a una gran carga. Al ser la viruta y el papel bond materiales que luego de cumplir su función se convierten en un desecho, la viabilidad de este estudio es muy amplia ya que no demanda altos costos de fabricación, además de que su elaboración no involucra gran cantidad energía como lo haría un ladrillo normal que es cocido en hornos a altas temperaturas generando emisiones considerables de CO₂.

La gran importancia del cemento en la actualidad se evidencia por el hecho de ser el material que más se produce en el mundo con cerca de 4070 millones de toneladas al año según la última estadística brindada por Index Mundi en 2013 en su reporte *Hydraulic Cement: World Production, By Country*. El crecimiento en el consumo de cemento se relaciona directamente con el aumento de la población mundial y con el desarrollo de los países, pues esto involucra obras de ingeniería civil, infraestructuras, etc., según diferentes estudios señalan que, al menos a corto plazo,

el hormigón y el mortero seguirán siendo los medios más baratos de construir y su consumo no cesará de aumentar proporcionalmente al crecimiento de la población y al desarrollo. Por estas razones es que este estudio busca utilizar cemento como un material en la fabricación de ladrillos ecológicos.

En nuestro medio aún no existen suficientes investigaciones sobre nuevos materiales de construcción que reemplacen a los materiales tradicionales parcialmente o en su totalidad, la falta de interés en el cuidado del medio ambiente por parte de la mayoría de profesionales y contratistas provoca que no se le dé la importancia suficiente a la búsqueda de nuevos materiales. Hablando de los ladrillos específicamente, dicha falta de interés en el medio ambiente genera daños ecológicos al momento de construir, al ser los ladrillos uno de los materiales de mayor demanda en el país y en América en general, y teniendo en cuenta que su fabricación genera emisiones considerables de CO₂, se debe procurar realizar más investigaciones sobre nuevos materiales ecológicos que sustituyan a los tradicionales, además de brindarle propiedades beneficiosas en cuanto a resistencia y economía.

1.4. HIPÓTESIS

Se puede producir un ladrillo que sea ecológico con cemento, suelo, papel bond y viruta de madera, que en relación costo-resistencia sea mejor que un ladrillo tradicional.

1.5. POBLACIÓN Y MUESTRA

1.5.1. Población

Al ser un proyecto experimental no cuenta con población, puesto que es un tema innovador, por ello no es posible determinar una población existente para la ejecución de la misma.

1.5.2. Muestra

La cantidad de ladrillos que se fabricaron representan la muestra del presente proyecto, para ensayar la resistencia a compresión se promedió los resultados de tres ladrillos, ensayados a la edad de 28 días, con esta referencia, para efectuar un análisis comparativo se decide trabajar con un total de 39 ladrillos:

- Ladrillo macizo tradicional (3)
- Ladrillo curado en pileta, con 40% de viruta (3)
- Ladrillo sin curado, con 40% de viruta (3)
- Ladrillo curado en pileta, con 50% de viruta (3)
- Ladrillo sin curado, con 50% de viruta (3)
- Ladrillo curado en pileta, con 60% de viruta (3)
- Ladrillo sin curado, con 60% de viruta (3)
- Ladrillo curado en pileta, con 40% de papel (3)
- Ladrillo sin curado, con 40% de papel (3)

- Ladrillo curado en pileta, con 50% de papel (3)
- Ladrillo sin curado, con 50% de papel (3)
- Ladrillo curado en pileta, con 60% de papel (3)
- Ladrillo sin curado, con 60% de papel (3)
- Ladrillo curado en pileta, con 40% de viruta más papel (3)
- Ladrillo sin curado, con 40% de viruta más papel (3)
- Ladrillo curado en pileta, con 50% de viruta más papel (3)
- Ladrillo sin curado, con 50% de viruta más papel (3)
- Ladrillo curado en pileta, con 60% de viruta más papel (3)
- Ladrillo sin curado, con 60% de viruta más papel (3)

\

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. MATERIALES

2.1.1. El suelo en la construcción

Diversos estudios como el de Gatani (2000), Piedra (2014), entre otros; han demostrado que el suelo estabilizado tiene una durabilidad y calidad técnica superior respecto al adobe o al suelo simple apisonado. La emergencia de la tecnología de producción de bloques de tierra comprimida, en países de Europa, África y Latinoamérica, y su aplicación en construcción desde la década de los años '50, ha continuado el progreso y experimentación científica así como sus méritos técnicos, tal como lo afirma CRA Terre (como se citó en Gatani 2000). Un abundante cuerpo de conocimiento ha sido desarrollado por centros de investigación, industriales, empresarios y constructores, convirtiendo esta tecnología en alternativa a otras tecnologías de hoy.

Begliardo, Sánchez, Panigatti, Casenave y Fornero (2006) establecen que el suelo tratado con cemento puede ser hecho con:

- Suelo granular limpio.
- Mezcla de suelos granulares y finos, predominantemente limosos.
- Mezcla de suelos granulares y finos, predominantemente arcillosos.
- Suelos limosos.
- Suelos arcillosos.

Sin embargo, el suelo propicio para confeccionar ladrillos de suelo cemento es el de naturaleza arenosa, con una proporción de finos tal que le confiera baja plasticidad para su moldeo en bloque (Roseto 2006).

2.1.1.1. Clasificación e Identificación de Suelos

El Instituto Ecuatoriano de Normalización (2010) ha establecido los siguientes ensayos para clasificar e identificar suelos:

- Análisis granulométrico de suelos (NTE INEN 696)
- Determinación del límite líquido de suelos (NTE INEN 691)
- Determinación del límite de plasticidad de suelos (NTE INEN 692)

En cuanto a la granulometría, Piedra (2014) enuncia que los fragmentos de suelo, se denominan de la siguiente manera, según sus diámetros:

- Grava, partículas mayores a 2 mm.
- Arena gruesa, partículas con un diámetro entre 0.42 mm y 2 mm.
- Arena fina, partículas con un diámetro entre 0.075 mm y 0.42 mm.
- Limos, partículas con un diámetro entre 0.005 mm y 0.075 mm.
- Arcilla, partículas con un diámetro menor a 0.005 mm.

2.1.1.1.1. Análisis granulométrico del suelo

El análisis granulométrico consiste en separar una muestra en varias fracciones, Coyasamín (2016) enuncia que la muestra es separada de acuerdo a su tamaño a través del tamizado del material utilizando de una serie de mallas o tamices que se encuentran especificados en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 154, con sus medidas determinadas como se evidencia en la Tabla 1. La Norma Técnica Ecuatoriana INEN 696 (2011) enuncia: Este método de ensayo se utiliza principalmente para determinar la graduación de materiales (...). Los resultados se utilizan para determinar el cumplimiento de la distribución granulométrica de las partículas con los requisitos de las especificaciones aplicables y proporcionar la información necesaria para el control de la producción de diversos productos de áridos y mezclas que contengan áridos. (p.1)

Tabla 1. Tamaños de las aberturas de los tamices INEN y sus equivalencias con la norma A.S.T.M. E11

NORMAS INEN	NORMA A.S.T.M.
53 mm	2 ½ y 2 pulg.
37.5 mm	1 ½ pulg.
26.5 mm	1 pulg.
19 mm	¾ pulg.
13.2 mm	½ pulg.
9.5 mm	3/8 pulg.
4.75 mm	Nº 4
2.36 mm	Nº 8
1.18 mm	Nº 16
0.60 mm	Nº 30
0.30 mm	Nº 50
0.150 mm	Nº 100
0.075 mm	Nº 200

Nota. Fuente: Adaptado de Instituto Ecuatoriano de Normalización (2011). *Norma técnica Ecuatoriana NTE INEN 154. Tamices de ensayo. Dimensiones nominales de las aberturas.* Quito, Ecuador: Publicación Oficial

- Procedimiento:

El siguiente procedimiento se encuentra descrito más detalladamente en la norma NTE INEN 696:

- i. Secar la muestra hasta masa constante a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$
- ii. Seleccionar los tamices necesarios y adecuados que cubran los tamaños de las partículas del material a ensayarse. Utilizar tantos tamices adicionales como se desee o como sean necesarios para proporcionar información adicional. Ordenar los tamices en forma decreciente según el tamaño de su abertura, de arriba a abajo y colocar la muestra en el tamiz superior. Agitar los tamices manualmente o por medio de aparatos mecánicos durante un período suficiente, ya sea establecido por el ensayo o también controlado por medio de la masa de la muestra de ensayo.
- iii. A menos que se utilice un agitador de tamices mecánico, tamizar a mano las partículas mayores de 75 mm mediante la determinación de la abertura más pequeña de tamiz por la cual puede pasar cada partícula. Iniciar el ensayo con el tamiz más pequeño a ser utilizado. Girar las partículas, si es necesario, a fin de determinar si van a pasar a través de una abertura particular, sin embargo, no se debe forzar a las partículas para pasar a través de una abertura.
- iv. Determinar las masas de cada incremento de tamaño en una balanza, con una precisión de 0,1% de la masa total de la muestra seca original. La masa total del material después del tamizado debe ser similar a la masa

original de la muestra colocada sobre los tamices. Si las cantidades difieren en más del 0,3%, respecto a la masa de la muestra seca original, los resultados no deben ser utilizados con fines de aceptación.

Una vez finalizado el procedimiento descrito, la Norma NTE INEN 696 enuncia que se debe calcular los porcentajes que pasen por los tamices y los porcentajes retenidos totales con una aproximación de 0,1% sobre la base de la masa total de la muestra seca inicial, evidenciar los resultados mediante una tabla.

2.1.1.1.2. Límite líquido

El Instituto Ecuatoriano de Normalización en su Norma NTE INEN 691 (1982) define al límite líquido como: “Un método de ensayo que consiste en determinar el contenido de agua de un suelo, (...) valiéndose de un dispositivo mecánico (Copa de Casagrande) en el que, con un determinado número de golpes, se establece la fluencia del suelo en condiciones normalizadas.” (p.1). Además establece que este ensayo debe hacerse únicamente con la fracción de suelo que pasa el tamiz de 425 μm (No. 40). Los datos se grafican en una escala semilogarítmica tal como se muestra a continuación:

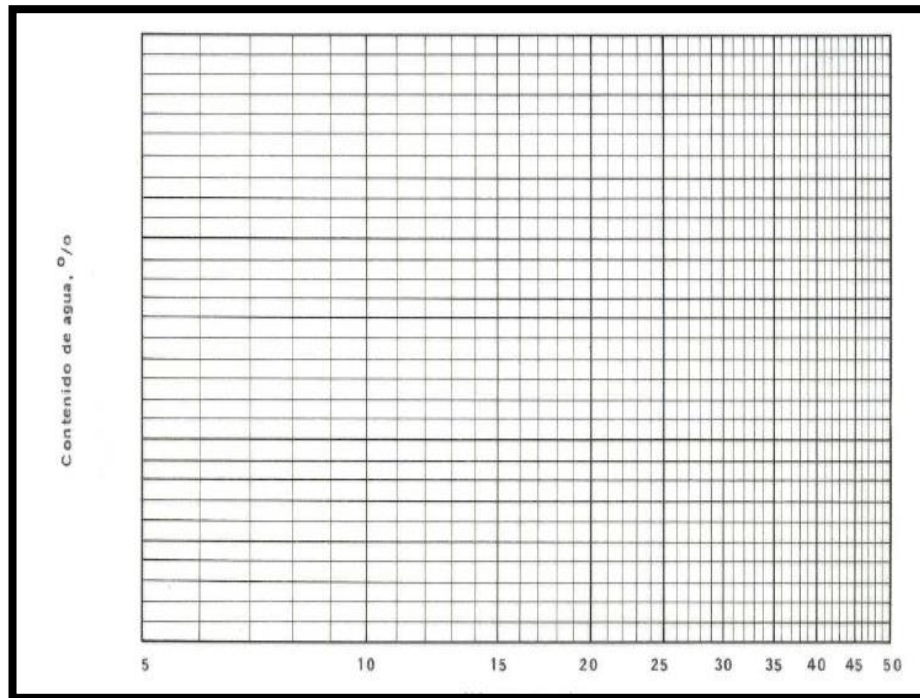


Ilustración 1. Escala semilogarítmica para determinar el límite líquido

Fuente: Instituto Ecuatoriano de Normalización (1982). *Norma técnica Ecuatoriana NTE INEN 691. Mecánica de suelos. Determinación del límite líquido método de casa grande*. Quito, Ecuador: Publicación Oficial

2.1.1.1.3. Límite plástico

El Instituto Ecuatoriano de Normalización en su Norma NTE INEN 692 (1982) define al límite plástico de la siguiente manera: “Este método de ensayo consiste en determinar el contenido de agua de un suelo en el límite entre su comportamiento plástico y sólido, para lo cual se utiliza el proceso de rolado para evaporar gradualmente el agua hasta que comienza a fisurarse o disgregarse.” (p.1). Al igual que en el límite líquido, se especifica que este ensayo debe hacerse únicamente con la fracción de suelo que pasa el tamiz de 425 μm (No. 40).

2.1.1.1.4. Clasificación AASHTO

Para la determinación del índice de grupo y la clasificación del suelo se utiliza la dada por la American Association of State Highway and Transportation Official- AASHTO (2009). Considera siete grupos básicos de suelos, que se numeran desde A-1 hasta A-7, y a su vez, algunos presentan subdivisiones; A-1 y A-7 tienen dos subgrupos mientras que en A-2 encontramos cuatro, tal como lo mencionan Bañón y Beviá (2000). Así también, se enuncia que si se desea determinar la posición relativa del suelo dentro del grupo, es necesario determinar el índice de grupo (IG) tal como se expresa en la ecuación [1], que se expresa como un valor entero comprendido entre 0 y 20, en función del porcentaje de suelo que pasa a través del tamiz #200 ASTM. (Bañón y Beviá, 2000).

$$IG = (F_{200} - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F_{200} - 15)(IP - 10) \quad [1]$$

Donde:

- F_{200} es el porcentaje de suelo que pasa el tamiz #200, expresado en número entero.
- LL es el límite líquido del suelo, expresado en número entero.
- IP es el índice de plasticidad del suelo, expresado en número entero.

A continuación en la Ilustración 1 se muestra la clasificación AASHTO que evidencia todas las características que debe tener el suelo para cada grupo y subgrupo.

CLASIFICACION GENERAL	Materiales Granulares (igual o menor del 35% pasa el tamiz Nº 200)							Materiales Limo - Arcillosos (más del 35% que pasa el tamiz Nº 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
SUB - GRUPOS	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5
% que pasa el Tamiz:											
Nº 10	50 máx.										
Nº 40	30 máx.	50 máx.	51 máx.								
Nº 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características del Material que pasa el tamiz Nº 40											
Límite Líquido			NO	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 máx.
Índice de Plasticidad	6 máx.	6 máx.	PLÁSTICO	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Índice de Grupo	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Tipos de Material	fragmentos de piedra grava y arena		Arena fina	Grava, arenas limosas y arcillosas				Suelos Limosos		Suelos Arcillosos	
Terreno de Fundación	Excelente a Bueno						Regular a Deficiente				

NOTA: El índice de plasticidad de los suelos A-7-5 es igual o menor que su Límite Líquido 30, el de los A-7-6 mayor que su Límite Líquido (fig. 1) se halla indicada la relación entre lo LL e IP de los materiales finos. Dicho de otro modo, el grupo A-7 es subdividido en A-7-5 ó A-7-6 dependiendo del Límite Plástico (L.P.)
Si el LP \geq 30, la clasificación es A-7-6
Si el LP < 30, la clasificación es A-7-5

Ilustración 2. Clasificación AASHTO para suelos

Fuente: Das Braja. *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. California State University, Sacramento (1985).

2.1.2. Cemento Portland

Cadena (2013) define al cemento Portland como un cemento hidráulico que se compone principalmente de silicatos de calcio hidráulicos, los cuales fraguan y endurecen cuando se produce una reacción química con el agua, denominada hidratación. Durante dicha reacción el cemento se combina con el agua para formar una pasta que al agregarse arena se le denomina mortero. La norma ASTM C 150 define diferentes tipos de cemento, de acuerdo a los usos y necesidades del mercado de la construcción, teniendo así:

Tipo I.- Este tipo de cemento es de uso general, y se emplea cuando no se requiere de propiedades y características especiales. Entre los usos donde se emplea este tipo de cemento están: pisos, pavimentos, edificios, estructuras, elementos prefabricados. (Coyasamín, 2016, p11)

Tipo II.- El cemento Pórtland tipo II se utiliza cuando es necesario la protección contra el ataque moderado de sulfatos, como por ejemplo en las tuberías de drenaje. En casos donde se especifican límites máximos para el calor de hidratación, puede emplearse en obras de gran volumen y particularmente en climas cálidos, en aplicaciones como muros de contención, pilas, presas, etc. (Coyasamín, 2016, p12)

Tipo III.- Este tipo de cemento desarrolla altas resistencias a edades tempranas, a 3 y 7 días. Esta propiedad se obtiene al molerse el cemento más finamente durante el proceso de molienda. Su utilización se debe a necesidades específicas de la construcción, como en el caso de carreteras y autopistas. (Coyasamín, 2016, p12)

Tipo IV.- El cemento Pórtland tipo IV se utiliza cuando por necesidades de la obra, se requiere que el calor generado por la hidratación sea mantenido a un mínimo. Los usos y aplicaciones del cemento tipo IV están dirigidos a obras con estructuras de tipo masivo, como por ejemplo grandes presas. (Coyasamín, 2016, p12)

Los cementos hidráulicos mezclados se han desarrollado por dos aspectos fundamentales, primero el interés de la industria por la conservación de la energía y segundo por la economía en su producción. La norma ASTM C 595 reconoce la existencia de cinco tipos de cementos mezclados:

- Cemento Pórtland de escoria de alto horno - Tipo IS.
- Cemento Pórtland puzolana - Tipo IP y Tipo P.
- Cemento de Escoria - Tipo S.
- Cemento Pórtland modificado con puzolana - Tipo I (PM).
- Cemento Pórtland modificado con escoria - Tipo I (SM).

2.1.3. El agua

El agua de mezclado se compone por la agregada al elaborar un mortero más la que proviene de la humedad superficial de los agregados, tal como lo enuncia Carrasco (2013), siendo sus principales funciones:

- Producir la hidratación del cemento, reaccionando con él.
- Contribuir con la trabajabilidad de la mezcla fresca al actuar como lubricante.
- Asegurar el espacio necesario en la pasta, para el desarrollo de los productos de hidratación.

Carrasco (2013) afirma que “una regla simple concerniente a la aceptabilidad del agua de mezclado, es que sea potable.”. Pero por otra parte, se dice que muchas aguas inaceptables para el consumo humano, son satisfactorias para fabricar hormigones y permiten alcanzar la resistencia a compresión exigida a menos que estén fuertemente impurificadas e influyan desfavorablemente en el proceso de endurecimiento y fraguado.

En cuanto al proceso que atraviesa el agua con el cemento, Del Campo (1963) afirma que al amasar el cemento con una cierta cantidad de agua, se forma una masa plástica, moldeable, que poco a poco, en función del tiempo, va perdiendo su plasticidad, y va desapareciendo el aspecto mojado que al principio tenía. “Tecnológicamente se dice que la pasta está fraguando, el proceso continúa, y llega un momento en el que aquella deja de ser plástica para transformarse en un cuerpo rígido. Cuando se produce ese cambio en su estructura, se dice igualmente que ha terminado el período de fraguado y se ha iniciado el de endurecimiento.” (p.38)

2.2. ENSAYOS

2.2.1. Ensayo de absorción

En el anexo D de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 3066 se define el siguiente procedimiento para el ensayo de absorción:

- “*Sumergir en agua las unidades para ensayo a una temperatura entre 16 °C y 27 °C, durante un lapso de 24 horas a 28 horas.*” (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2016)
- “*Determinar, entonces, la masa de las unidades completamente sumergidas, mientras están suspendida un alambre, y registrar este valor como M_i (masa de la muestra sumergida).*” (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2016)
- “*Sacarlas del agua y dejarlas que escurran durante 60 segundos \pm 5 segundos sobre una malla metálica, retirar el agua visible de la superficie con un paño **húmedo**, determinar su masa y registrar este valor. Repetir este procedimiento cada 24 horas hasta que la diferencia de la masa entre dos pesadas consecutivas sea inferior al 0,2 %. Registrar este resultado como M_s (masa de la muestra saturada).*” (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2016)
- “*Secarlas en un horno ventilado, entre 100 °C y 115 °C. Pesar las unidades cada 24 horas hasta que la diferencia de la masa entre las dos pesadas consecutivas sea inferior al 0,2 %. Registrar este resultado como M_d (masas de la muestra seca al horno).*” (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2016)

Una vez realizado el procedimiento descrito, el Instituto Ecuatoriano de Normalización ha establecido las siguientes ecuaciones para los cálculos:

$$\text{Absorción, (kg/m}^3\text{)} = \frac{M_s - M_d}{M_s - M_i} \times 1000 \quad [2]$$

$$\text{Absorción, (\%)} = \frac{M_s - M_d}{M_d} \times 100 \quad [3]$$

Donde:

- M_s es la masa de la unidad saturada (kg),
- M_i es la masa de la unidad sumergida (kg),
- M_d es la masa de la unidad seca al horno (kg).

2.2.2. Ensayo de resistencia a la compresión simple

Los parámetros para la preparación de las muestras a ser ensayadas se encuentran en el anexo E de la Norma Técnica Ecuatoriana 3066, en donde se enuncia que:

Después de la entrega al laboratorio, almacenar las unidades (...) a una temperatura de $24\text{ }^\circ\text{C} \pm 8\text{ }^\circ\text{C}$ y a una humedad relativa inferior al 80 % por al menos 48 horas. Sin embargo, si se necesitan resultados de compresión más rápidamente, almacenar las unidades (...), con una corriente de aire proveniente de un ventilador eléctrico que pase por ellos, por un período de al menos 4 horas. No se debe utilizar el horno para secar estas unidades. (p19)

Así también establece la fórmula para determinar la resistencia a compresión:

$$\text{Resistencia a la compresión} = \frac{P_{\text{máx}}}{A_n} \quad [4]$$

Donde

$P_{\text{máx}}$ = carga máxima de compresión, (kgf)

A_n = área neta de la unidad (cm²)

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DEL SUELO

El suelo natural se obtuvo del sector de Borma del cantón Déleg de la provincia del Cañar, teniendo como referencia las coordenadas UTM: 728813.73 E; 9687510 S; Zona 17M. Se trabajó con material que pase el tamiz N°4 y se observó que es un suelo limoso por lo que para reducir su plasticidad se optó por añadir arena limpia fina de Santa Isabel, teniendo una relación suelo: arena de 1:1. Una vez establecidas estas condiciones, se realizaron los siguientes ensayos para clasificar el material.

3.1.1. Determinación del límite líquido

De acuerdo al procedimiento establecido en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 691, se calcula el límite líquido del suelo natural y luego el límite líquido del suelo adicionado con arena.

- Límite líquido del suelo natural

Tabla 2. Contenido de agua del suelo natural

# de tarro	# de golpes	Peso Húmedo +Tarro (g)	Peso Seco +Tarro (g)	Peso del Tarro (g)	% Contenido de agua
16	43	28.64	25.62	17.57	27.28
15	30	27.66	24.83	17.81	28.73
9	21	28.24	24.92	17.07	29.72
6	13	28.36	24.82	16.96	31.05

Nota. Fuente: Elaboración propia.

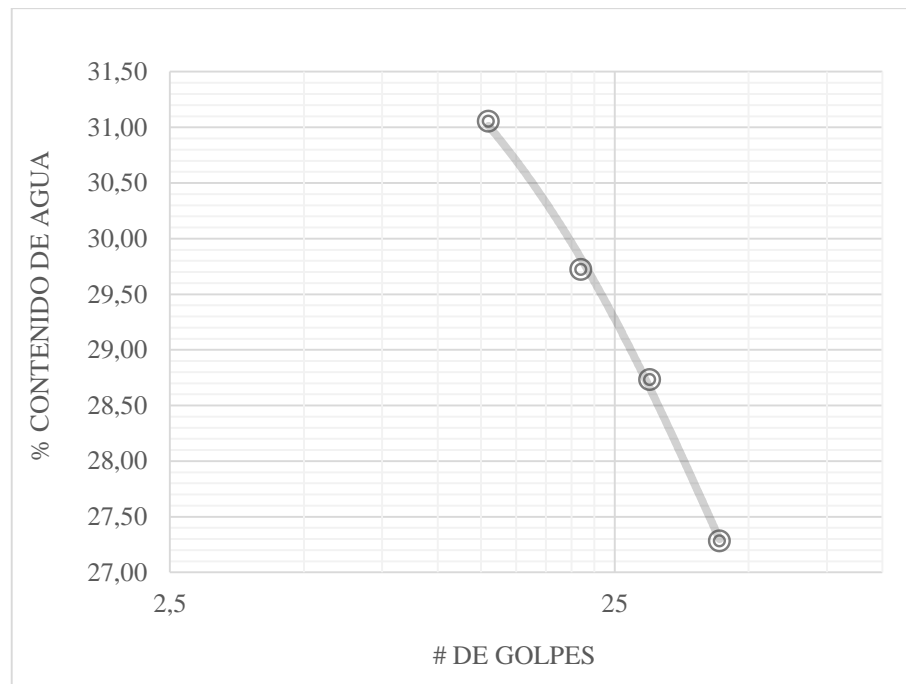


Ilustración 3. Contenido de humedad del suelo natural según el número de golpes

Fuente: Elaboración propia.

- Límite líquido del suelo + arena

Tabla 3. Contenido de agua del suelo más arena

# de tarro	# de golpes	Peso Húmedo +Tarro (g)	Peso Seco +Tarro (g)	Peso del Tarro (g)	% Contenido de agua
15	40	29.9	27.45	17.81	20.26
22	32	29.25	26.85	17.69	20.76
31	23	31.87	28.84	17.89	21.67
6	13	30.22	27.14	16.96	23.23

Nota. Fuente: Elaboración propia.

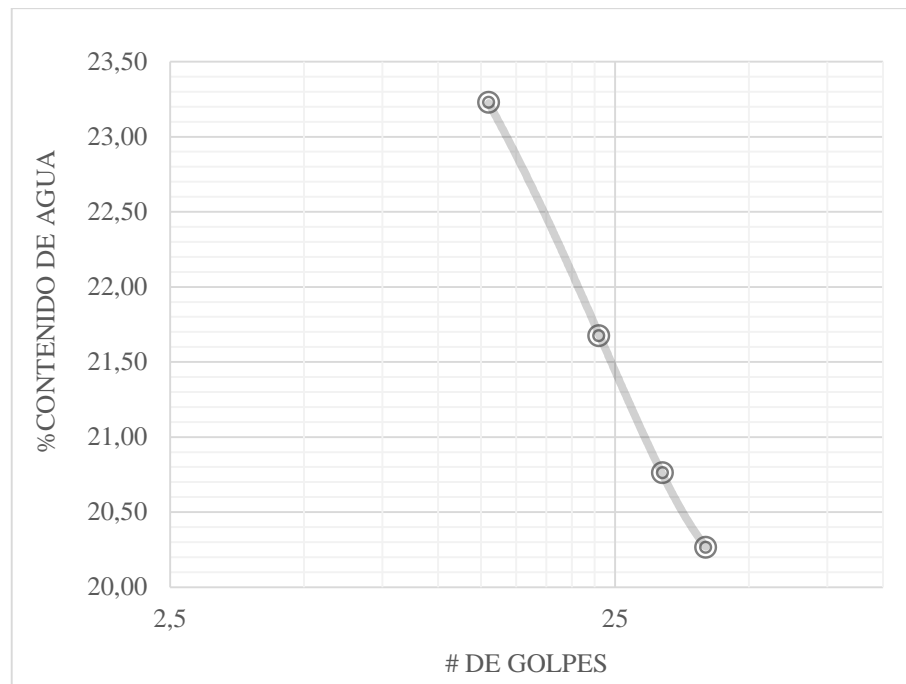


Ilustración 4. Contenido de humedad del suelo más arena según el número de golpes

Fuente: Elaboración propia.

- Resultados:
 - Límite líquido del suelo natural = 29%
 - Límite líquido del arena = No plástico
 - Límite líquido del suelo + arena = 21%

3.1.2. Determinación del límite plástico

De acuerdo al procedimiento establecido en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 692, se calcula el límite plástico del suelo natural y luego el límite plástico del suelo adicionado con arena. Adicionalmente, aplicando la INEN 692, se calculará el índice de plasticidad de los materiales.

- Límite plástico del suelo natural

Tabla 4. Límite plástico del suelo natural

# de tarro	Peso Húmedo +Tarro (g)	Peso Seco +Tarro (g)	Peso del Tarro (g)	% Contenido de agua	Contenido de agua promedio (%)
27	8.38	7.99	6.05	16.74	17.0
24	9.01	8.54	6.21	16.79	
4	11.39	10.93	8.72	17.23	
34	9.24	8.71	6.21	17.49	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

- Límite plástico del suelo + arena

Tabla 5. Límite plástico del suelo más arena

# de tarro	Peso Húmedo +Tarro (g)	Peso Seco +Tarro (g)	Peso del Tarro (g)	% Contenido de agua	Contenido de agua promedio (%)
27	8.25	7.87	6.05	17.27	17.2
24	8.47	8.09	6.21	16.81	
4	11.64	11.13	8.72	17.47	
34	8.99	8.51	6.21	17.27	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

3.1.2.1. Determinación del índice de plasticidad

- Índice de plasticidad del suelo natural = 29% - 17% = 12%
- Índice de plasticidad del suelo + arena = 21% - 17.2% = 3.8%

3.1.3. Análisis granulométrico

3.1.3.1. Suelo natural

- Se obtiene el peso seco de la muestra

Peso húmedo	500 g
Peso seco	284.85 g

- Se determina la granulometría

Tabla 6. Granulometría del suelo natural

Tamiz N°	Diámetro (mm)	Peso retenido (g)	% retenido	% que pasa
4		0.00	0.00	100.00
10	2	22.94	8.05	91.95
40	0.425	104.72	36.76	55.18
100		101.83	35.75	19.43
200	0.075	51.62	18.12	1.31

Nota. Fuente: Elaboración propia.

3.1.3.2. Suelo más arena

- Se obtiene el peso seco de la muestra

Peso húmedo	500 g
Peso seco	371.56 g

- Se determina la granulometría

Tabla 7. Granulometría del suelo más arena

Tamiz N°	Diámetro (mm)	Peso retenido	% retenido	% que pasa
4		0.00	0.00	100.00
10	2	20.09	5.41	94.59
40	0.425	149.12	40.13	50.46
100		156.28	42.06	16.40
200	0.075	43.20	11.63	0.77

Nota. Fuente: Elaboración propia.

3.1.4. Clasificación AASHTO

Con los resultados obtenidos con los ensayos anteriores se procede a clasificar el material en función del porcentaje retenido en los tamices y el índice de plasticidad según la norma AASHTO para clasificación de suelos, tal como se observa en la Tabla 8. En base a la clasificación obtenida, se confirma el uso beneficioso de utilizar suelo más arena en el estudio. Una vez encontradas las características deseables se procede a preparar los materiales restantes de la dosificación.

Tabla 8. Clasificación AASHTO del material

Muestra	Grupo	Tipo de materiales característicos	Calificación
Suelo natural	A-2-6 (0)	Gravas y arenas limosas y arcillosas	Regular
Suelo + Arena	A-1-b (0)	Fragmentos de grava, piedra y arena	Excelente a bueno

Nota. La calificación se realiza en función de su calidad para uso en vías. Fuente: Elaboración propia.

3.2. MUESTREO Y PREPARACIÓN DE LA VIRUTA

En la ciudad de Azogues existen más de una docena de establecimientos entre carpinterías y aserríos, los cuales trabajan con diferentes tipos de madera. El aserrío para este estudio del cual se obtuvo la viruta se encuentra ubicado en la Calle Antonio José De Sucre entre la Calle Camilo Ponce Enrique y la Avenida Ignacio Neira. La viruta escogida es mediana y fina, descartando viruta gruesa pues sus dimensiones podrían generar porosidades en los ladrillos. La viruta es proveniente de dos tipos de madera, roble y eucalipto.

3.2.1. Saturación del material

Para evitar que la viruta absorba en demasía el agua de mezclado utilizada, se procedió a dejarla en saturación durante 48 horas tal como se muestra en la Ilustración 5, y se optó por cubrirla para evitar su evaporación y así conservar la humedad.



Ilustración 5. Viruta en proceso de saturación
Fuente: Elaboración propia.

3.3. MUESTREO Y PREPARACIÓN DEL PAPEL

Se puede encontrar papel bond en las instituciones públicas y privadas como un desecho, pues luego de cumplir su función es considerado basura, para este estudio el papel bond fue obtenido y reciclado de la Universidad Católica de Cuenca sede Azogues. Se optó por papel bond de 75gr. por ser el más utilizado en nuestro medio.

3.3.1. Saturación del material

Para evitar que el papel absorba agua de mezclado utilizada, se procedió a dejarlo en saturación durante 48 horas tal como se muestra en la Ilustración 6.



Ilustración 6. Papel en proceso de saturación

Fuente: Elaboración propia.

3.3.2. Homogenización

Utilizando una batidora Hobart se procedió a homogenizar el papel bond de 75gr. triturándolo y adicionando agua hasta conseguir una consistencia uniforme, tal como se observa en la Ilustración 7.



Ilustración 7. Homogenización del papel bond

Fuente: Elaboración propia.

3.4. DOSIFICACIÓN Y ELABORACIÓN DE LOS LADRILLOS

Las medidas de los moldes se eligieron en función de los ladrillos tradicionales existentes en el mercado teniendo así dimensiones ya establecidas de 12cm x 24cm x 8cm con un volumen total de materiales de 4600 cm³.

3.4.1. Dosificaciones

Para esta investigación se trabajó con una relación en volumen de suelo-cemento de 1:1.5 pues se busca que el “mortero ecológico” posea buen porcentaje en cemento para aumentar la resistencia.

Se inicia las mezclas con el 50% del volumen de un ladrillo con papel, viruta o ambos, según sea el caso. Con ese punto de partida se consideró realizar dosificaciones que contengan un 60% y otra con un 40% de los materiales

mencionados, es decir, se partió de la idea de utilizar una primera dosificación con la mitad del volumen con papel, viruta o ambos, para luego hacer una segunda y tercera dosificación con una variación de +/- 10%, respectivamente.

Tabla 9. Volúmenes de material necesario para fabricar una unidad de ladrillo ecológico.

Material	40% V (cm³)	50% V (cm³)	60% V (cm³)	40% P (cm³)	50% P (cm³)	60% P (cm³)	40% P+V (cm³)	50% P+V (cm³)	60% P+V (cm³)
Cemento	1656	1380	1104	1656	1380	1104	1656	1380	1104
Suelo más arena	1104	920	736	1104	920	736	1104	920	736
Papel	----	----	----	1840	2300	2760	920	1150	1380
Viruta	1840	2300	2760	----	----	----	920	1150	1380

Nota. Fuente: Elaboración propia.

3.4.2. Procedimiento

Se mezclan los agregados finos (cemento y suelo más arena) en las proporciones previstas según la dosificación escogida, hasta homogenizarlos correctamente, tal como se muestra en la Ilustración 8. A esta mezcla se le adiciona el papel, la viruta o ambas, según sea el caso, y se mezcla y homogeniza nuevamente hasta obtener una trabajabilidad apropiada, en caso de ser necesario se adiciona agua a la mezcla para mejorar su manejabilidad y obtener una mezcla óptima para trabajar, como se observa en la Ilustración 9.



Ilustración 8. Mezcla en seco de cemento, suelo más arena
Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 9. Homogenización de todos los materiales
Fuente: Elaboración propia.

Consecuentemente se coloca la mezcla en moldes de madera y se procede a dar golpes con un martillo de hule para conseguir que el material se acomode apropiadamente y se elimine exceso de aire. Luego de asegurar la correcta

distribución del material y cubrir espacios vacíos, se retira el molde, quedando los ladrillos ecológicos tal como se observan en la Ilustración 10, donde además se evidencia la presencia de una placa metálica utilizada para nivelar la cara superior que recibirá carga en los ensayos de compresión.



Ilustración 10. Ladrillos desmoldados con presencia de placa para nivelación.
Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE Y DEFORMACIÓN DE LADRILLOS ECOLÓGICOS

Tabla 10. Esfuerzo a compresión simple ladrillo, curado en pileta, con 40% de viruta

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN							
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA <small>COMUNIDAD EDUCATIVA AL SERVICIO DEL PUEBLO</small>		FACULTAD DE INGENIERÍA. CIVIL			labsuelos		
ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE							
Dosificación: 40% viruta				Identificación: Curado en pileta			
Muestra N°	Fecha de elaboración	Fecha de ensayo	Días	Área (cm ²)	Carga de falla (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Esfuerzo promedio (kgf/cm ²)
1	09/01/2018	06/02/2018	28	313.74	53840	171.61	170.00
2	09/01/2018	06/02/2018	28	322.5	54310	168.40	
3	09/01/2018	06/02/2018	28	318.11	54075	169.99	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

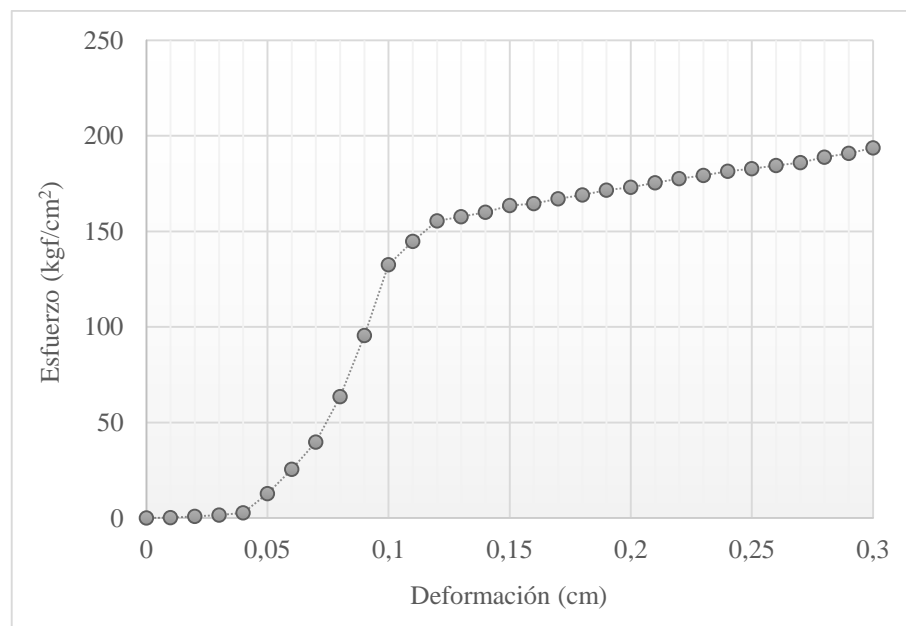


Ilustración 11. Esfuerzo vs. Deformación, ladrillo con 40% de viruta, curado en pileta.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11. Esfuerzo a compresión simple ladrillo, sin curado en pileta, con 40% de viruta

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN							
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA <small>COMUNIDAD EDUCATIVA AL SERVICIO DEL PUEBLO</small>		FACULTAD DE INGENIERÍA. CIVIL				labsuelos	
Dosificación: 40% viruta				Identificación: Sin curado en pileta			
Muestra N°	Fecha de elaboración	Fecha de ensayo	Días	Área (cm ²)	Carga de falla (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Esfuerzo promedio (kgf/cm ²)
1	09/01/2018	06/02/2018	28	302.58	53010	175.19	
2	09/01/2018	06/02/2018	28	300.08	54510	181.65	178.90
3	09/01/2018	06/02/2018	28	298.89	53760	179.87	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

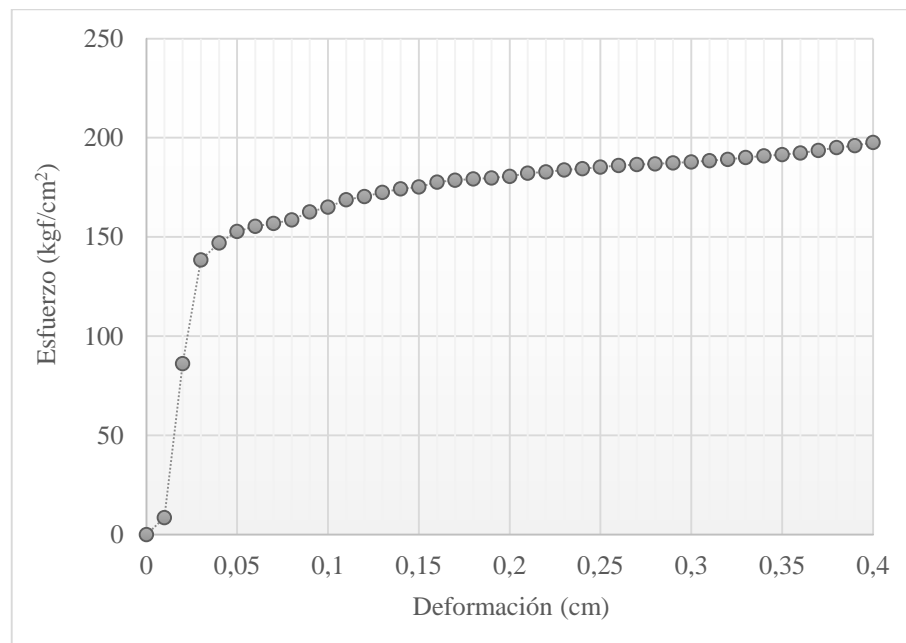


Ilustración 12. Esfuerzo vs. Deformación, ladrillo con 40% de viruta, sin curado en pileta.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12. Esfuerzo a compresión simple ladrillo, curado en pileta, con 50% de viruta

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN							
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA COMUNIDAD EDUCATIVA AL SERVICIO DEL PUEBLO		FACULTAD DE INGENIERÍA. CIVIL				labsuelos	
ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE							
Dosificación: 50% viruta				Identificación: Curado en pileta			
Muestra N°	Fecha de elaboración	Fecha de ensayo	Días	Área (cm ²)	Carga de falla (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Esfuerzo promedio (kgf/cm ²)
1	08/01/2018	05/02/2018	28	295.6	49020	165.83	
2	08/01/2018	05/02/2018	28	302.4	52800	174.60	155.52
3	08/01/2018	05/02/2018	28	300.5	37900	126.12	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

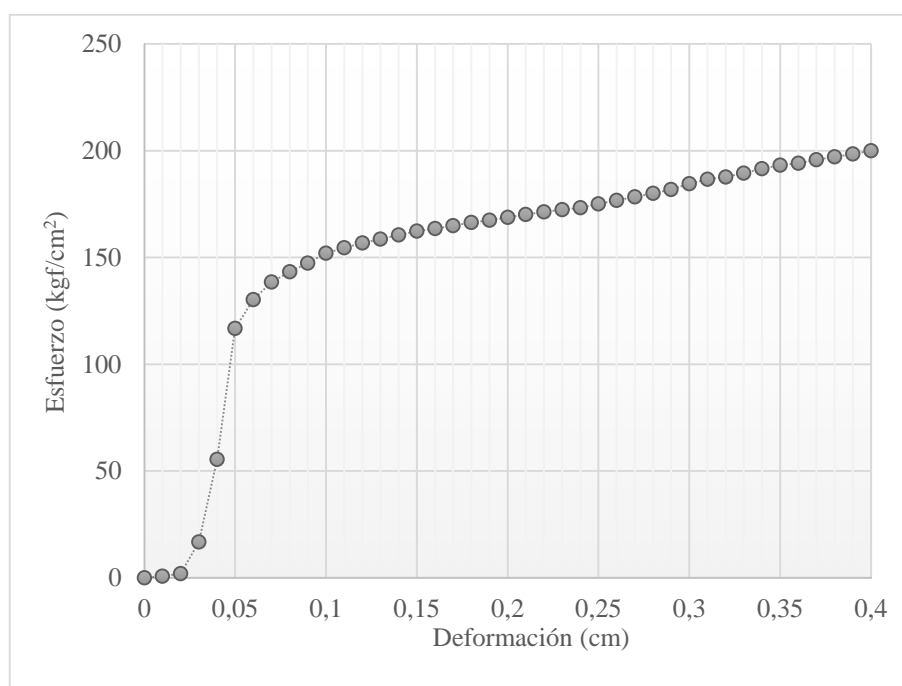




Ilustración 13. Esfuerzo vs. Deformación, ladrillo con 50% de viruta, curado en pileta.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13. Esfuerzo a compresión simple ladrillo, sin curado en pileta, con 50% de viruta

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN							
 UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA <small>COMUNIDAD EDUCATIVA AL SERVICIO DEL PUEBLO</small>		FACULTAD DE INGENIERÍA. CIVIL					
ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE							
Dosificación: 50% viruta				Identificación: Sin curado en pileta			
Muestra N°	Fecha de elaboración	Fecha de ensayo	Días	Área (cm ²)	Carga de falla (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Esfuerzo promedio (kgf/cm ²)
1	08/01/2018	05/02/2018	28	295.6	50025	169.23	
2	08/01/2018	05/02/2018	28	302.4	53010	175.30	159.21
3	08/01/2018	05/02/2018	28	300.5	40000	133.11	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

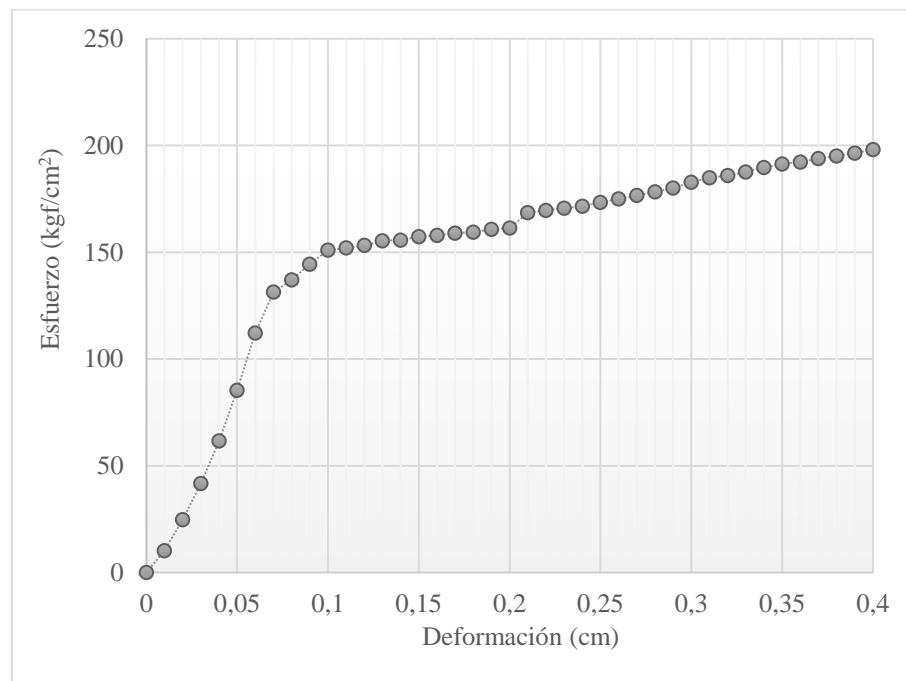


Ilustración 14. Esfuerzo vs. Deformación, ladrillo con 50% de viruta, sin curado en pileta.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14. Esfuerzo a compresión simple ladrillo, curado en pileta, con 60% de viruta

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN							
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA <small>COMUNIDAD EDUCATIVA AL SERVICIO DEL PUEBLO</small>		FACULTAD DE INGENIERÍA. CIVIL			labsuelos		
Dosificación: 60% viruta				Identificación: Curado en pileta			
Muestra N°	Fecha de elaboración	Fecha de ensayo	Días	Área (cm ²)	Carga de falla (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Esfuerzo promedio (kgf/cm ²)
1	10/01/2018	07/02/2018	28	301.35	22430	74.43	
2	10/01/2018	07/02/2018	28	306.28	25200	82.28	78.37
3	10/01/2018	07/02/2018	28	303.81	23815	78.39	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

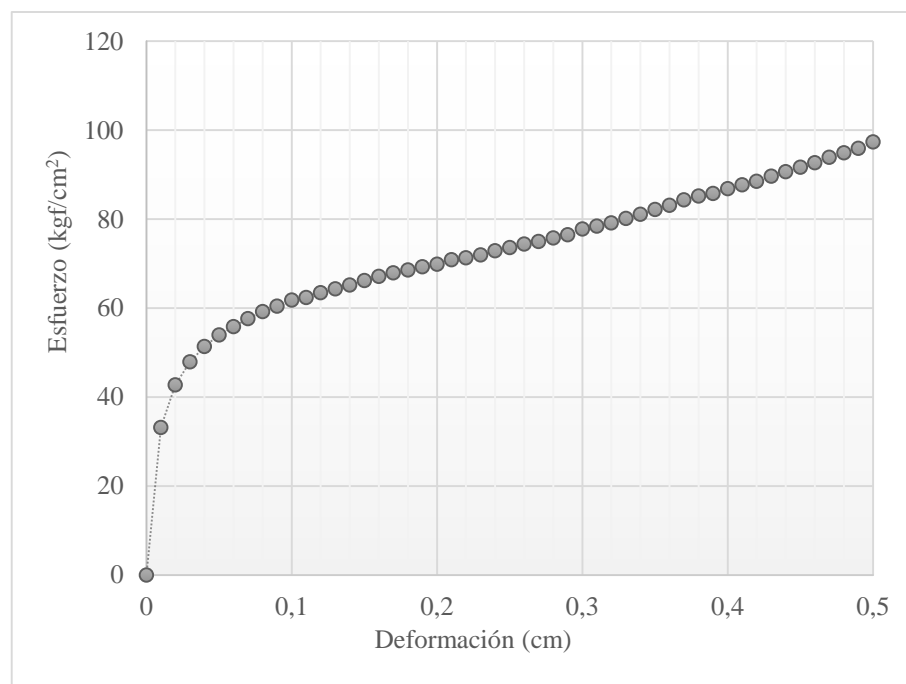


Ilustración 15. Esfuerzo vs. Deformación, ladrillo con 60% de viruta, curado en pileta.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15. Esfuerzo a compresión simple ladrillo, sin curado en pileta, con 60% de viruta

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN							
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA <small>COMUNIDAD EDUCATIVA AL SERVICIO DEL PUEBLO</small>		FACULTAD DE INGENIERÍA. CIVIL				labsuelos	
Dosificación: 60% viruta				Identificación: Sin curado en pileta			
Muestra N°	Fecha de elaboración	Fecha de ensayo	Días	Área (cm ²)	Carga de falla (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Esfuerzo promedio (kgf/cm ²)
1	10/01/2018	07/02/2018	28	288	24160	83.89	
2	10/01/2018	07/02/2018	28	297.66	27950	93.90	88.92
3	10/01/2018	07/02/2018	28	292.82	26055	88.98	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

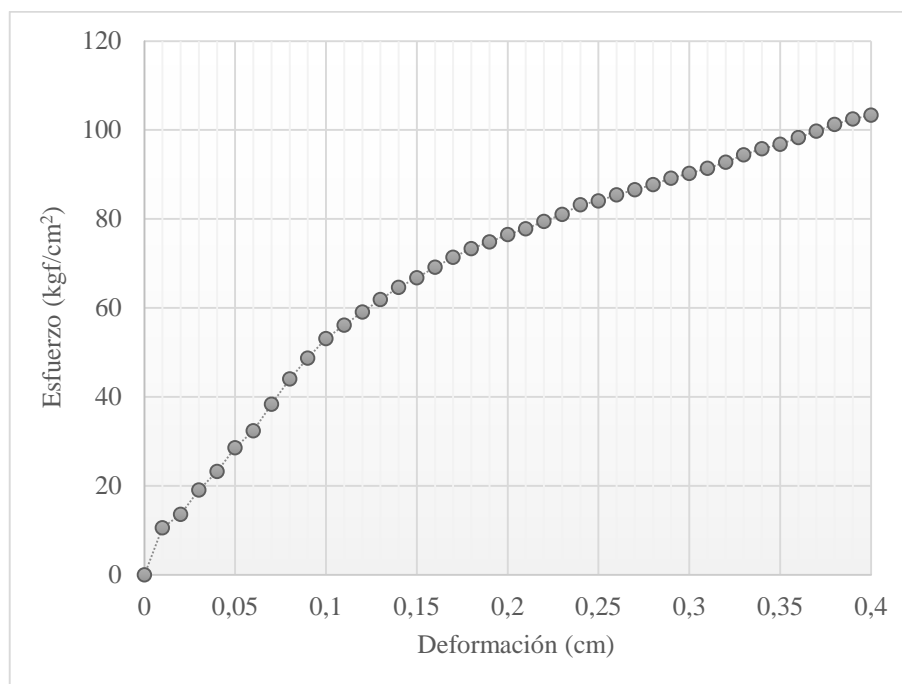


Ilustración 16. Esfuerzo vs. Deformación, ladrillo con 60% de viruta, sin curado en pileta.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16. Esfuerzo a compresión simple ladrillo, curado en pileta, con 40% de papel

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN							
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA <small>COMUNIDAD EDUCATIVA AL SERVICIO DEL PUEBLO</small>		FACULTAD DE INGENIERÍA. CIVIL			labsuelos		
Dosificación: 40% Papel				Identificación: Curado en pileta			
Muestra N°	Fecha de elaboración	Fecha de ensayo	Días	Área (cm ²)	Carga de falla (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Esfuerzo promedio (kgf/cm ²)
1	15/01/2018	16/02/2018	32	306.28	17660	57.66	
2	15/01/2018	16/02/2018	32	316.26	17050	53.91	55.78
3	15/01/2018	16/02/2018	32	311.25	17355	55.76	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

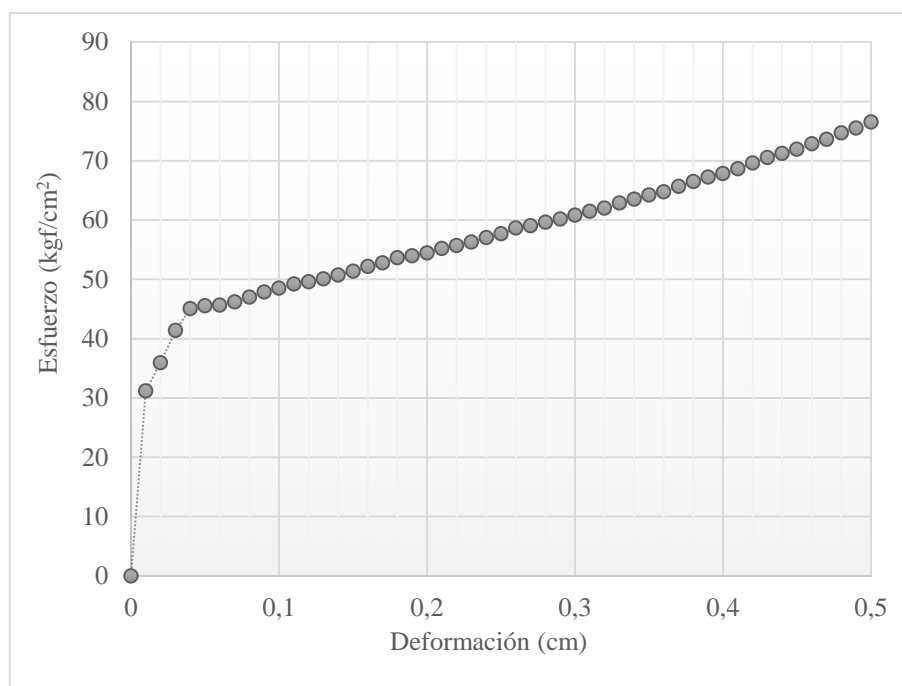


Ilustración 17. Esfuerzo vs. Deformación, ladrillo con 40% de papel, curado en pileta.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17. Esfuerzo a compresión simple ladrillo, sin curado en pileta, con 40% de papel

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN							
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA <small>COMUNIDAD EDUCATIVA AL SERVICIO DEL PUEBLO</small>				FACULTAD DE INGENIERÍA. CIVIL			
Dosificación: 40% Papel				Identificación: Sin curado en pileta			
Muestra N°	Fecha de elaboración	Fecha de ensayo	Días	Área (cm ²)	Carga de falla (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Esfuerzo promedio (kgf/cm ²)
1	15/01/2018	16/02/2018	32	305	19840	65.05	
2	15/01/2018	16/02/2018	32	311.22	21020	67.54	66.30
3	15/01/2018	16/02/2018	32	308.10	20430	66.31	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

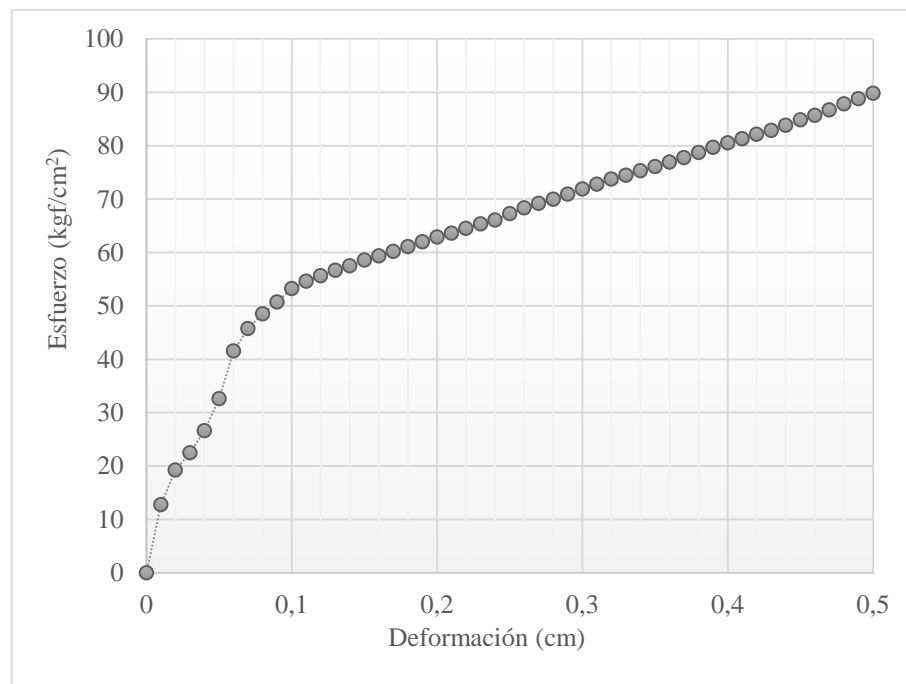


Ilustración 18. Esfuerzo vs. Deformación, ladrillo con 40% de papel, sin curado en pileta.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18. Esfuerzo a compresión simple ladrillo, curado en pileta, con 50% de papel

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN							
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA <small>COMUNIDAD EDUCATIVA AL SERVICIO DEL PUEBLO</small>		FACULTAD DE INGENIERÍA. CIVIL			labsuelos		
Dosificación: 50% Papel				Identificación: Curado en pileta			
Muestra N°	Fecha de elaboración	Fecha de ensayo	Días	Área (cm ²)	Carga de falla (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Esfuerzo promedio (kgf/cm ²)
1	11/01/2018	08/02/2018	28	288	12350	42.88	
2	11/01/2018	08/02/2018	28	288	13280	46.11	44.68
3	11/01/2018	08/02/2018	28	284.41	12815	45.06	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

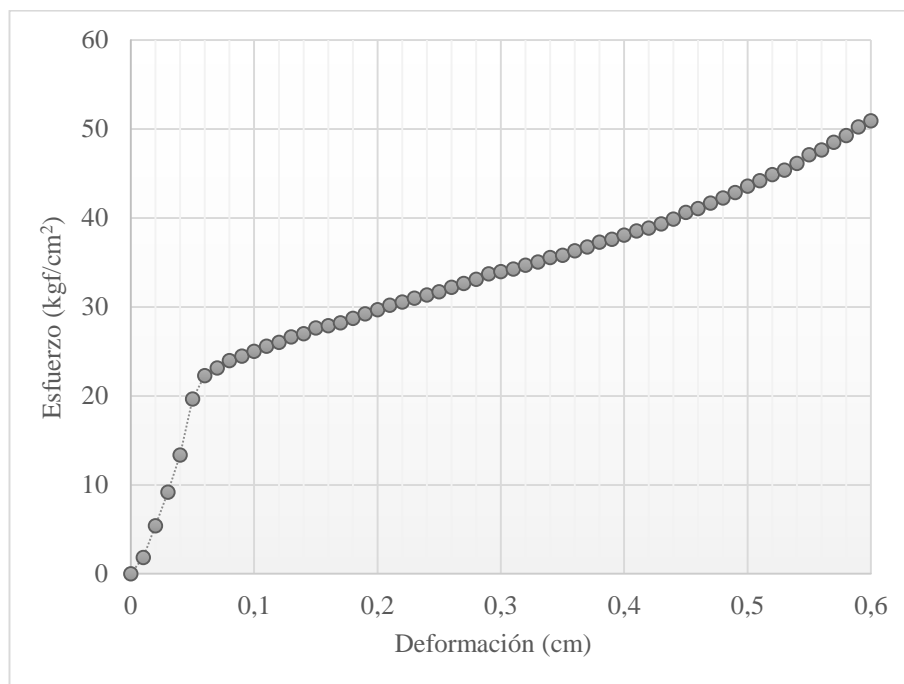




Ilustración 19. Esfuerzo vs. Deformación, ladrillo con 50% de papel, curado en pileta.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19. Esfuerzo a compresión simple ladrillo, sin curado en pileta, con 50% de papel

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN							
 UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA <small>COMUNIDAD EDUCATIVA AL SERVICIO DEL PUEBLO</small>		<i>FACULTAD DE INGENIERÍA. CIVIL</i>					
Dosificación: 50% Papel				Identificación: Sin curado en pileta			
Muestra N°	Fecha de elaboración	Fecha de ensayo	Días	Área (cm ²)	Carga de falla (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Esfuerzo promedio (kgf/cm ²)
1	11/01/2018	08/02/2018	28	286.8	14950	52.13	
2	11/01/2018	08/02/2018	28	288	13980	48.54	50.33
3	11/01/2018	08/02/2018	28	287.40	14465	50.33	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

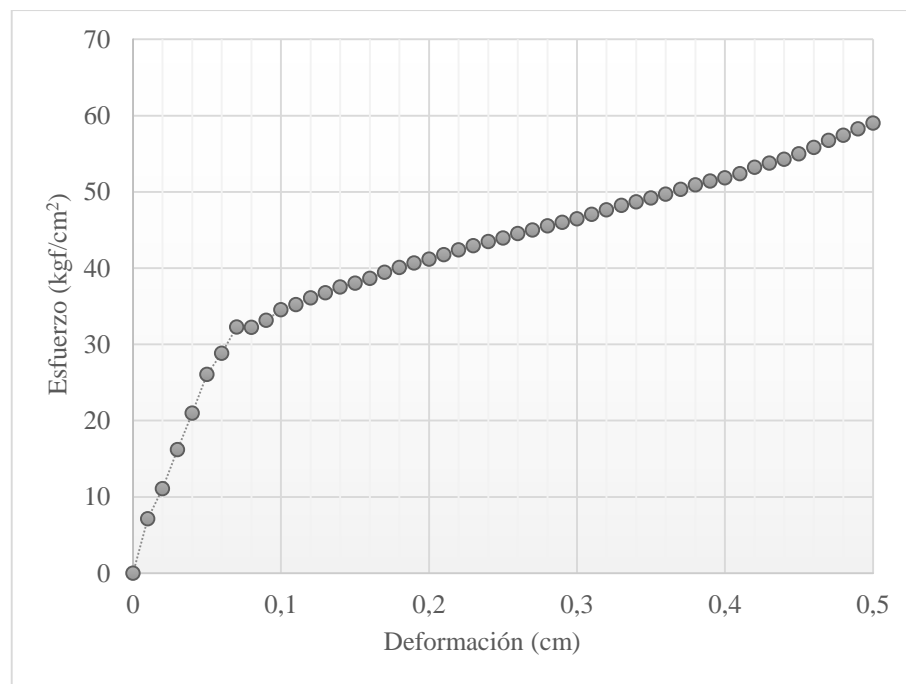


Ilustración 20. Esfuerzo vs. Deformación, ladrillo con 50% de papel, sin curado en pileta.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20. Esfuerzo a compresión simple ladrillo, curado en pileta, con 60% de papel

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN							
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA <small>COMUNIDAD EDUCATIVA AL SERVICIO DEL PUEBLO</small>		FACULTAD DE INGENIERÍA. CIVIL				labsuelos	
Dosificación: 60% Papel				Identificación: Curado en pileta			
Muestra N°	Fecha de elaboración	Fecha de ensayo	Días	Área (cm ²)	Carga de falla (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Esfuerzo promedio (kgf/cm ²)
1	16/01/2018	16/02/2018	31	311.22	4010	12.88	
2	16/01/2018	16/02/2018	31	302.58	4440	14.67	13.78
3	16/01/2018	16/02/2018	31	306.89	4225	13.77	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

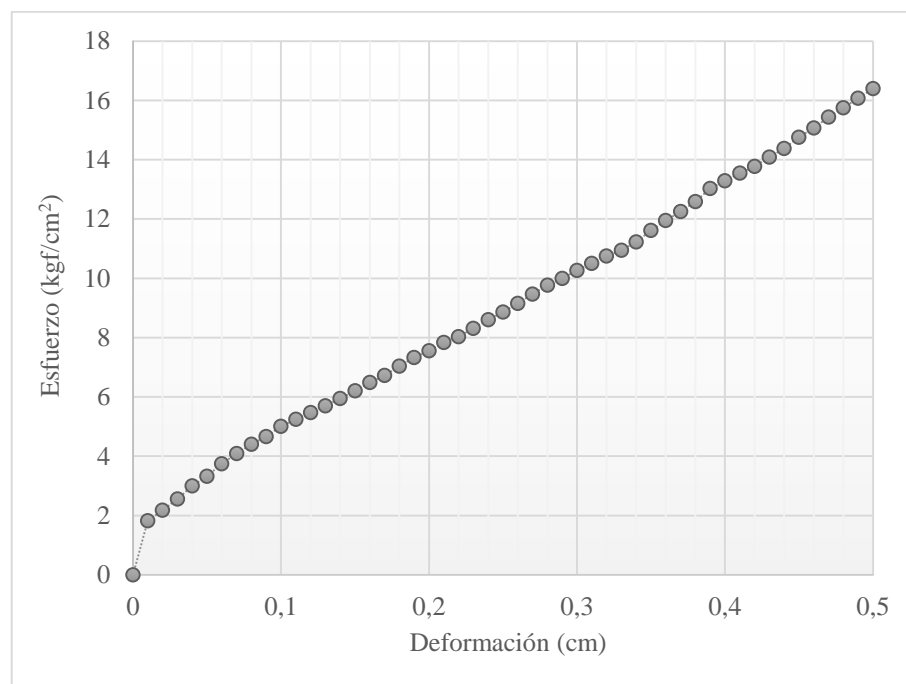


Ilustración 21. Esfuerzo vs. Deformación, ladrillo con 60% de papel, curado en pileta.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 21. Esfuerzo a compresión simple ladrillo, sin curado en pileta, con 60% de papel

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN							
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA <small>COMUNIDAD EDUCATIVA AL SERVICIO DEL PUEBLO</small>		FACULTAD DE INGENIERÍA. CIVIL				labsuelos	
Dosificación: 60% Papel				Identificación: Sin curado en pileta			
Muestra N°	Fecha de elaboración	Fecha de ensayo	Días	Área (cm ²)	Carga de falla (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Esfuerzo promedio (kgf/cm ²)
1	16/01/2018	16/02/2018	31	292.8	8360	28.55	
2	16/01/2018	16/02/2018	31	297.68	6210	20.86	24.17
3	16/01/2018	16/02/2018	31	295.24	6820	23.10	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

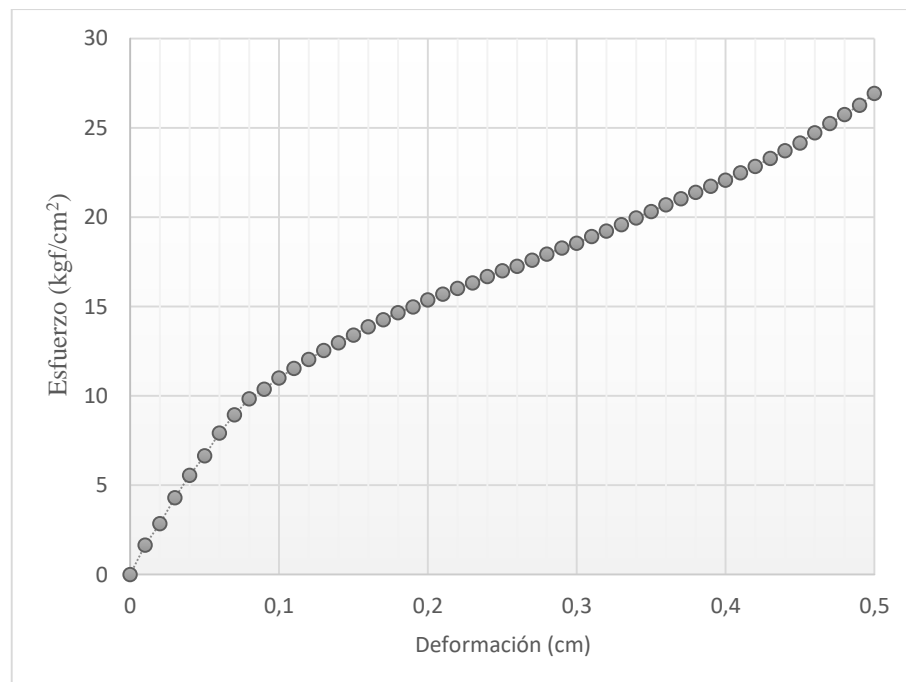


Ilustración 22. Esfuerzo vs. Deformación, ladrillo con 60% de papel, sin curado en pileta.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 22. Esfuerzo a compresión simple ladrillo, curado en pileta, con 40% de viruta más papel

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN							
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA <small>COMUNIDAD EDUCATIVA AL SERVICIO DEL PUEBLO</small>		FACULTAD DE INGENIERÍA. CIVIL			labsuelos		
Dosificación: 40% Viruta + Papel				Identificación: Curado en pileta			
Muestra N°	Fecha de elaboración	Fecha de ensayo	Días	Área (cm ²)	Carga de falla (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Esfuerzo promedio (kgf/cm ²)
1	17/01/2018	16/02/2018	30	316.23	28010	88.57	
2	17/01/2018	16/02/2018	30	312.5	25310	80.99	84.79
3	17/01/2018	16/02/2018	30	314.37	26660	84.80	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

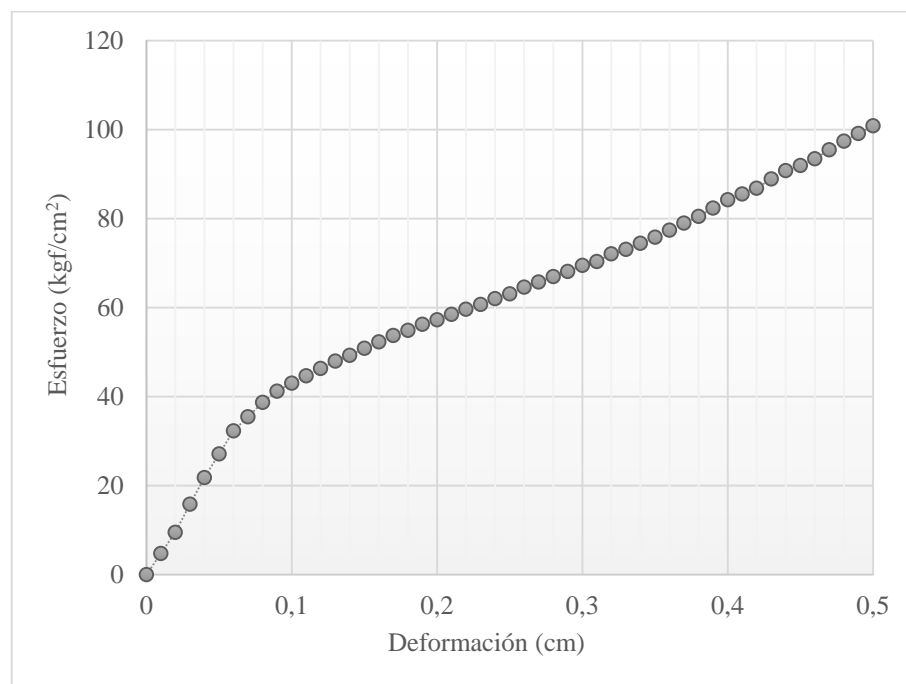




Ilustración 23. Esfuerzo vs. Deformación, ladrillo con 40% de viruta más papel, curado en pileta.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 23. Esfuerzo a compresión simple ladrillo, sin curado en pileta, con 40% de viruta más papel

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN							
 UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA <small>COMUNIDAD EDUCATIVA AL SERVICIO DEL PUEBLO</small>		FACULTAD DE INGENIERÍA. CIVIL					
Dosificación: 40% Viruta + Papel				Identificación: Sin curado en pileta			
Muestra N°	Fecha de elaboración	Fecha de ensayo	Días	Área (cm ²)	Carga de falla (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Esfuerzo promedio (kgf/cm ²)
1	17/01/2018	16/02/2018	30	318.75	34110	107.01	
2	17/01/2018	16/02/2018	30	318.75	30720	96.38	101.69
3	17/01/2018	16/02/2018	30	318.75	32415	101.69	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

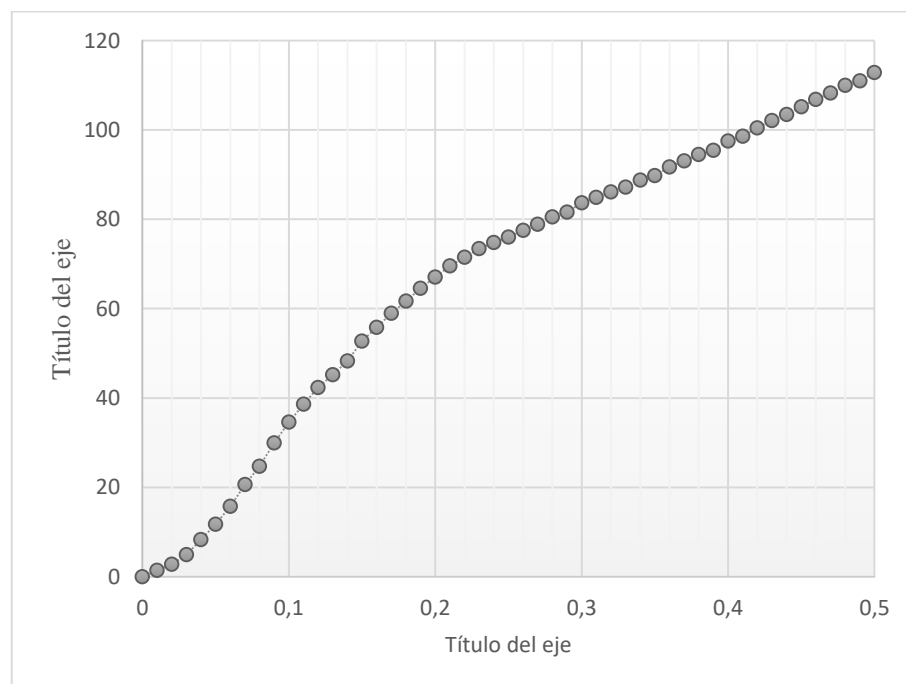


Ilustración 24. Esfuerzo vs. Deformación, ladrillo con 40% de viruta más papel, sin curado en pileta.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24. Esfuerzo a compresión simple ladrillo, curado en pileta, con 50% de viruta más papel

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN							
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA <small>COMUNIDAD EDUCATIVA AL SERVICIO DEL PUEBLO</small>		FACULTAD DE INGENIERÍA. CIVIL				labsuelos	
Dosificación: 50% Viruta + Papel				Identificación: Sin curado en pileta			
Muestra N°	Fecha de elaboración	Fecha de ensayo	Días	Área (cm ²)	Carga de falla (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Esfuerzo promedio (kgf/cm ²)
1	17/01/2018	16/02/2018	30	313.74	26410	84.18	
2	17/01/2018	16/02/2018	30	311.22	25650	82.42	83.41
3	17/01/2018	16/02/2018	30	311.25	26030	83.63	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

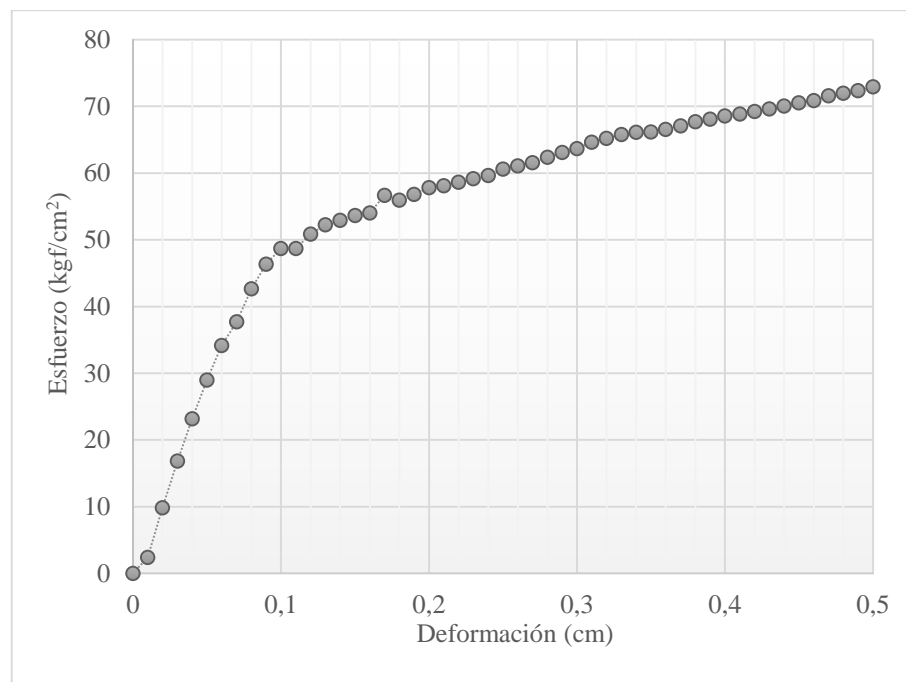




Ilustración 25. Esfuerzo vs. Deformación, ladrillo con 50% de viruta más papel, curado en pileta.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 25. Esfuerzo a compresión simple ladrillo, sin curado en pileta, con 50% de viruta más papel

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN							
 UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA <small>COMUNIDAD EDUCATIVA AL SERVICIO DEL PUEBLO</small>		FACULTAD DE INGENIERÍA. CIVIL					
Dosificación: 50% Viruta + Papel				Identificación: Sin curado en pileta			
Muestra N°	Fecha de elaboración	Fecha de ensayo	Días	Área (cm ²)	Carga de falla (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Esfuerzo promedio (kgf/cm ²)
1	17/01/2018	16/02/2018	30	313.74	20120	64.13	
2	17/01/2018	16/02/2018	30	311.22	19420	62.40	63.35
3	17/01/2018	16/02/2018	30	311.25	19770	63.52	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

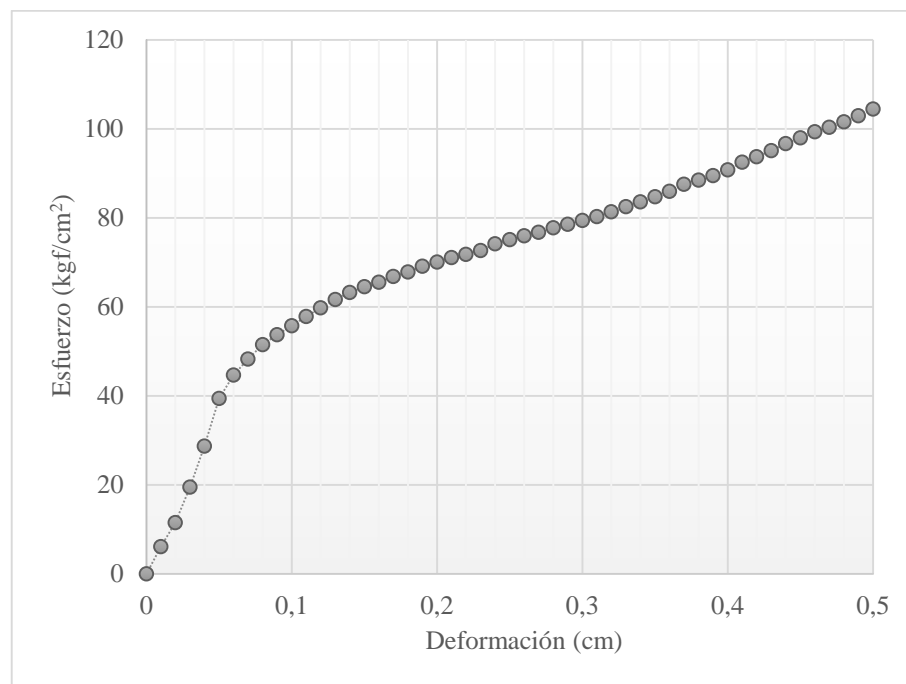


Ilustración 26. Esfuerzo vs. Deformación, ladrillo con 50% de viruta más papel, sin curado en pileta.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 26. Esfuerzo a compresión simple ladrillo, curado en pileta, con 60% de viruta más papel

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN							
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA COMUNIDAD EDUCATIVA AL SERVICIO DEL PUEBLO		FACULTAD DE INGENIERÍA. CIVIL				labsuelos	
Dosificación: 60% Viruta + Papel				Identificación: Curado en pileta			
Muestra N°	Fecha de elaboración	Fecha de ensayo	Días	Área (cm ²)	Carga de falla (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Esfuerzo promedio (kgf/cm ²)
1	17/01/2018	16/02/2018	30	306.25	12830	41.89	
2	17/01/2018	16/02/2018	30	306.25	18910	61.75	51.82
3	17/01/2018	16/02/2018	30	306.25	15870	51.82	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

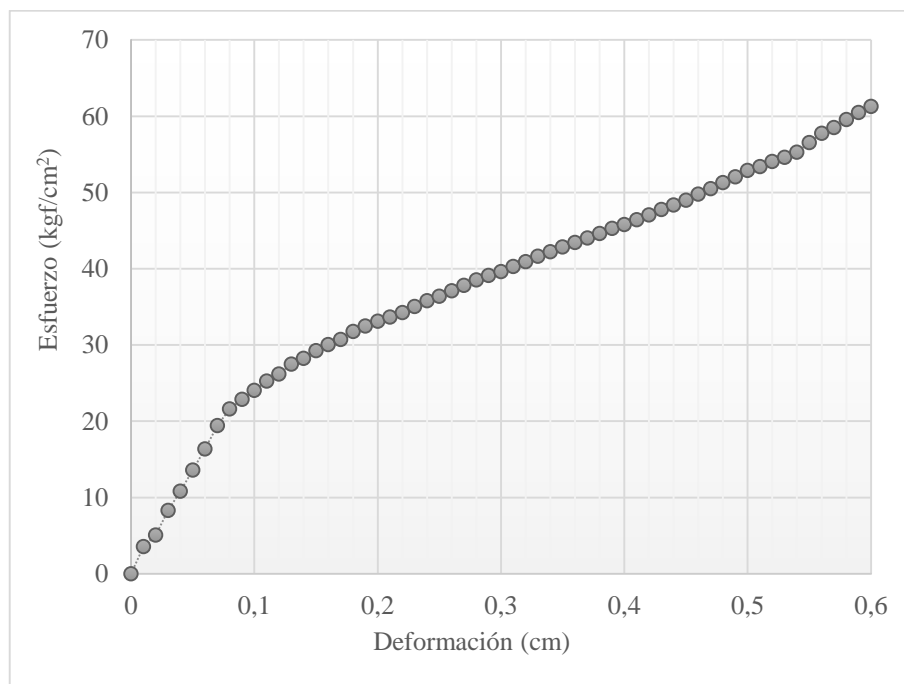


Ilustración 27. Esfuerzo vs. Deformación, ladrillo con 60% de viruta más papel, curado en pileta.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 27. Esfuerzo a compresión simple ladrillo, sin curado en pileta, con 60% de viruta más papel

Muestra N°		Fecha de elaboración		Fecha de ensayo		Días		Área (cm ²)		UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN		FACULTAD DE INGENIERÍA. CIVIL	labsuelos
										Dosificación: 60% Viruta + Papel			
										Carga de falla (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Esfuerzo promedio (kgf/cm ²)	
1	17/01/2018	16/02/2018	30	306.25	12030	39.28							
2	17/01/2018	16/02/2018	30	306.25	15320	50.02						44.65	
3	17/01/2018	16/02/2018	30	306.25	13675	44.65							

Nota. Fuente: Elaboración propia.

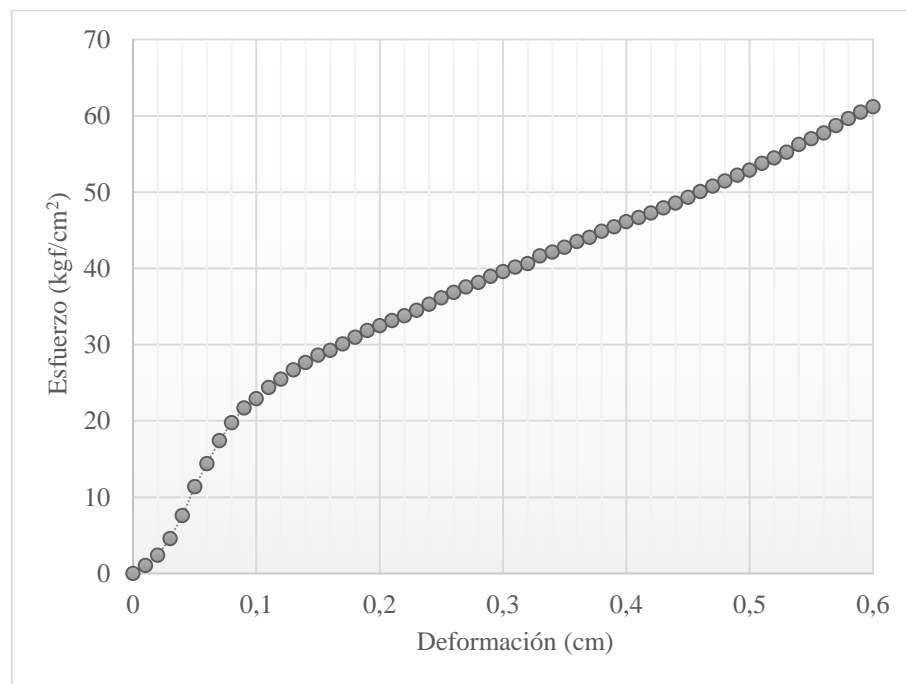




Ilustración 28. Esfuerzo vs. Deformación, ladrillo con 60% de viruta más papel, sin curado en pileta.

Fuente: Elaboración propia.

4.2. ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LADRILLOS TRADICIONALES

Tabla 28. Esfuerzo a compresión simple, ladrillo tradicional cocido

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN				
 UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA <small>COMUNIDAD EDUCATIVA AL SERVICIO DEL PUEBLO</small>		FACULTAD DE INGENIERÍA. CIVIL		
Ladrillo cocido		Identificación: Tipo "burrito"		
Muestra N°	Área (cm ²)	Carga de falla (Kgf)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Esfuerzo promedio (kgf/cm ²)
1	328.86	47070	143.13	139.43
2	336.55	43140	128.18	
3	331.38	48700	146.96	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

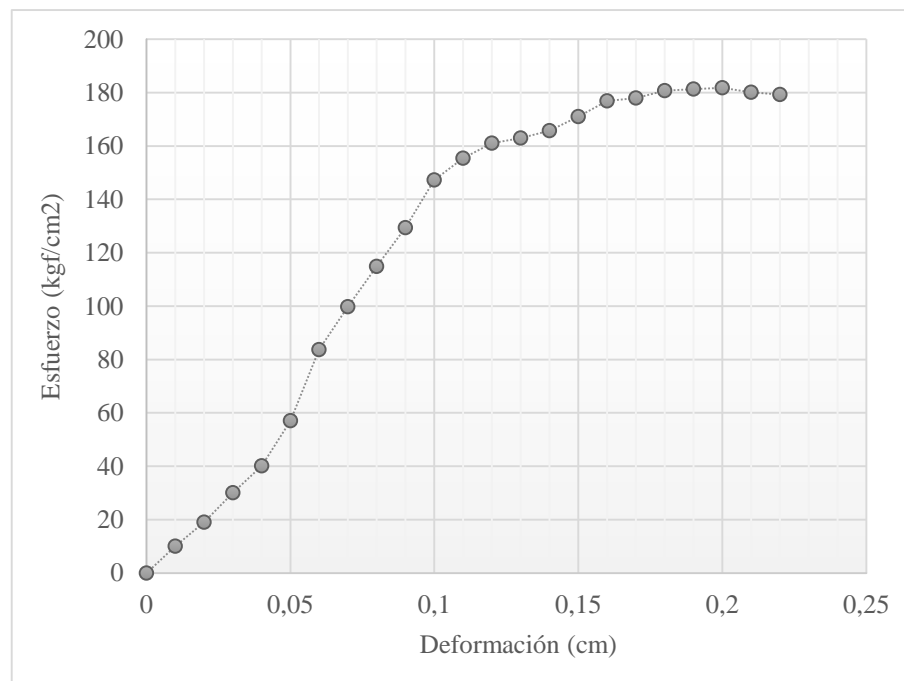


Ilustración 29. Esfuerzo vs. Deformación, ladrillo tradicional cocido

Fuente: Elaboración propia.

4.3. ANÁLISIS DE LA ABSORCIÓN DE LADRILLOS

En la tabla 29 se muestra el porcentaje de absorción del ladrillo ecológico y tradicional, en donde se evidencia que los ladrillos que contienen papel en su dosificación aumentan su porcentaje de absorción, mostrando que este tipo de ladrillo no puede ser usado en exteriores, porque tiende a absorber grandes cantidades de humedad, y esto afectaría su resistencia y durabilidad. También se observa que ladrillos ecológicos con 40% de viruta tienen una absorción un poco más baja que la de un ladrillo tradicional. Como es evidente, las dosificaciones que contienen viruta más papel poseen una absorción intermedia en relación a las otras dosificaciones, puesto que la gran absorción del papel se contrarresta en parte por la absorción de la viruta.

Tabla 29. Porcentaje de absorción de los ladrillos

Muestra N°	Identificación	Absorción (%)
1	Ladrillo tradicional cocido	16.50%
2	40% Viruta	15.96%
3	50% Viruta	20.62%
4	60% Viruta	25.28%
5	40% Papel	28.83%
6	50% Papel	39.63%
7	60% Papel	63.13%
8	40% Viruta más Papel	22.34%
9	50% Viruta más Papel	28.11%
10	60% Viruta más Papel	34.45%

Nota. Fuente: Elaboración propia.

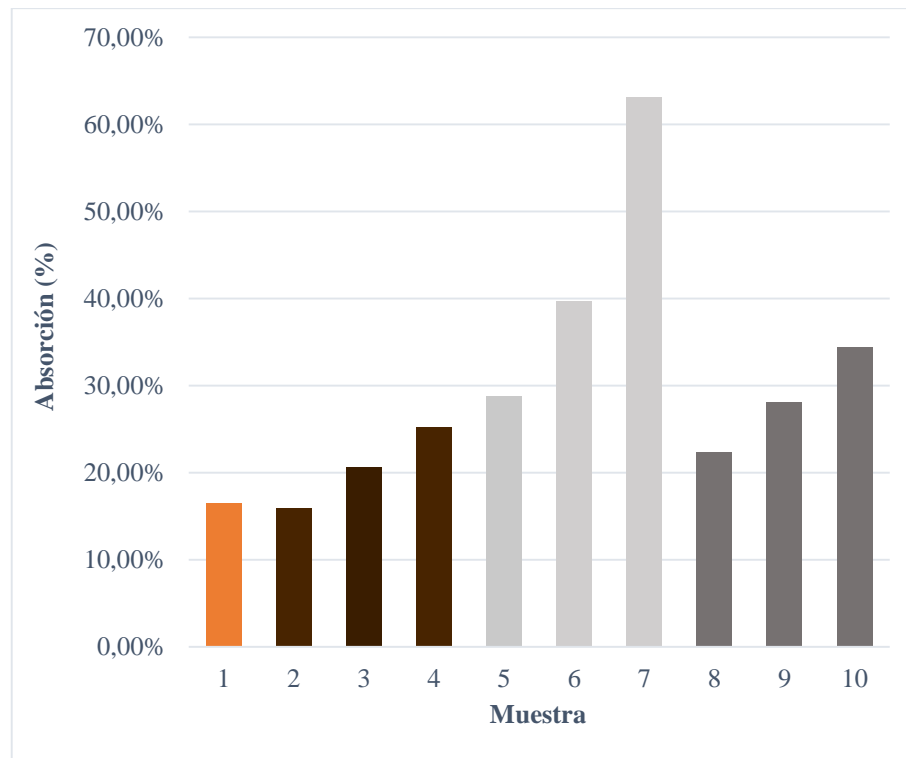


Ilustración 30. Comparación de la absorción de los ladrillos

Fuente: Elaboración propia.

4.4. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Una vez realizados los ensayos de compresión se observa que el esfuerzo que resisten los ladrillos ecológicos que contienen papel en su dosificación se encuentran por debajo del esfuerzo que resisten los ladrillos tradicionales. Así también, se observa que los ladrillos ecológicos con contenidos de 40% y 50% de viruta superan al esfuerzo resistido por los ladrillos tradicionales en un 28% y 22% respectivamente. Las siguientes gráficas esfuerzo-deformación muestran el comportamiento del ladrillo tradicional vs. Ladrillos ecológicos. La acción del curado de los ladrillos no influye en demasía con respecto a la resistencia, a excepción de los ladrillos que contienen papel que necesitan estar secos al momento

del ensayo pues debido a la gran absorción del papel, se retiene el agua, y disminuye su resistencia.

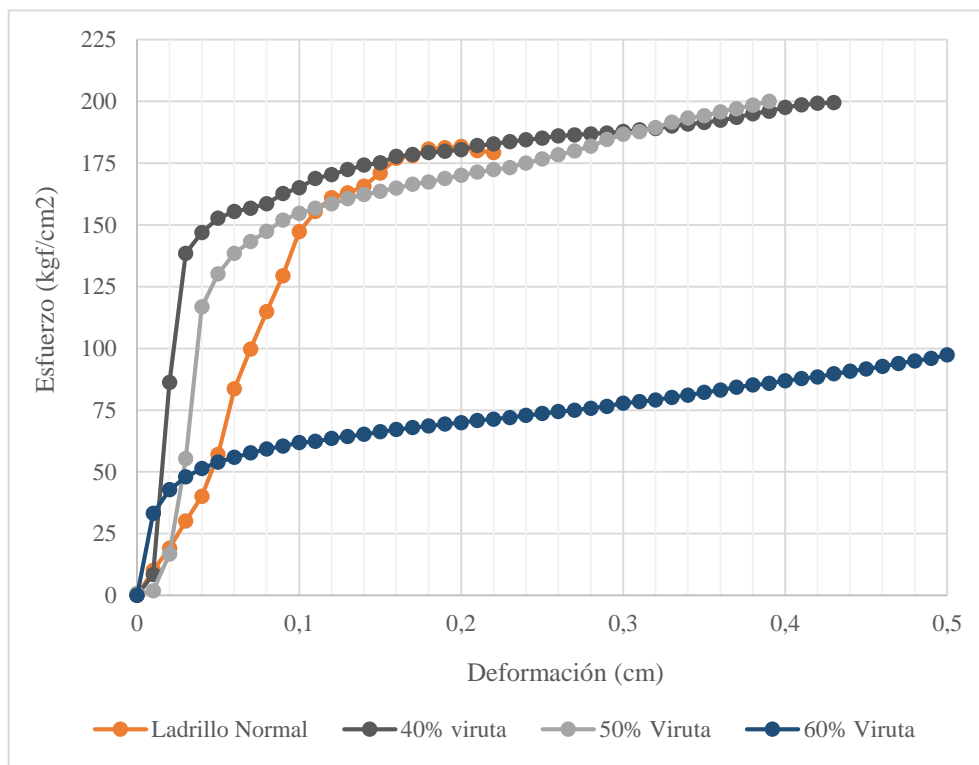


Ilustración 31. Esfuerzo vs. Deformación, ladrillo tradicional y ladrillos con viruta
Fuente: Elaboración propia.

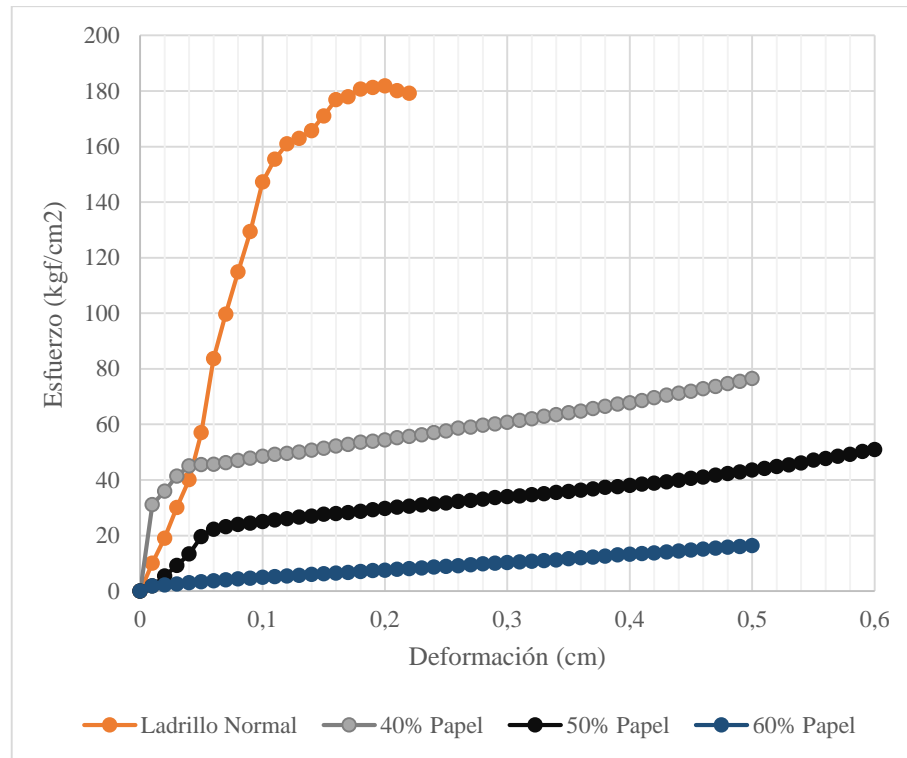


Ilustración 32. Esfuerzo vs. Deformación, ladrillo tradicional y ladrillos con papel

Fuente: Elaboración propia.

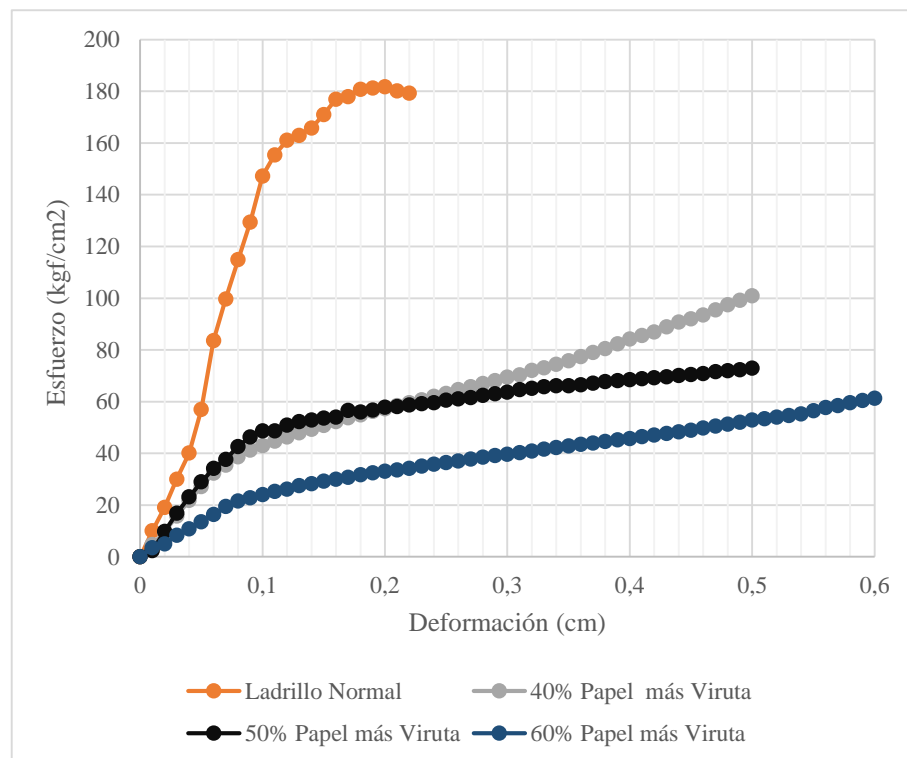


Ilustración 33. Esfuerzo vs. Deformación, ladrillo tradicional y ladrillos con viruta más papel

Fuente: Elaboración propia.

En las gráficas de las ilustraciones 31, 32 y 33 se observa que los ladrillos ecológicos poseen la capacidad de continuar recibiendo carga y seguir deformándose a diferencia de un ladrillo tradicional que llega a su esfuerzo último y deja de resistir carga, es decir, se observa que los ladrillos tradicionales presentan falla frágil, mientras que los ecológicos muestran falla dúctil. Por otra parte, el peso obtenido evidencia una ventaja en los ladrillos ecológicos al ser más livianos que los ladrillos tradicionales, tal como se observa a continuación en la Tabla 30. Esta diferencia de pesos en comparación con ladrillos tradicionales es de aproximadamente 1 kilogramo, dicha diferencia puede magnificarse al momento de analizar el peso de una pared hecha con ladrillos de arcilla cocida, por lo tanto si el peso es mayor la estructura soportante deberá ser más resistente, lo cual aumentará su costo.

Tabla 30. Peso de los ladrillos ensayados

Descripción	Peso
Ladrillo Tradicional	4.13 kg
Ladrillo con 40% Viruta	3.46 kg
Ladrillo con 50% Viruta	3.30 kg
Ladrillo con 60% Viruta	2.70 kg
Ladrillo con 40% Papel	3.15 kg
ladrillo con 50% papel	2.44 kg
ladrillo con 60% papel	1.88 kg
ladrillo con 40% viruta más papel	2.98 kg
ladrillo con 50% viruta más papel	2.94 kg
ladrillo con 60% viruta más papel	2.48 kg

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Además desde el punto de vista sísmico, una edificación más liviana genera menores esfuerzos inerciales laterales. De la misma manera, el fallo que presentan los ladrillos ecológicos permitirían que personas no sean afectadas por la caída de paredes durante un sismo, debido a su deformación sin fallo frágil.



Ilustración 34. Fracaso de mampostería en Escuela del Milenio – Pedernales Ecuador

Fuente: Ing. Xavier Nieto Cárdenas

4.5. ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE COSTOS

Al ser los ladrillos con porcentajes de 40% y 50% de viruta los que alcanzan la misma resistencia de un ladrillo tradicional, se realizó un análisis de los costos solo de estos elementos.

Para el análisis de las tablas 31 y 32 se consideró solamente el valor de los materiales utilizados, dejando de lado los procesos de producción puesto que un ladrillo tradicional se produce en fábricas a grandes escalas, mientras que ésta investigación de ladrillos ecológico al ser innovadora se fundamenta en la producción por unidades.

Tabla 31. Costo de fabricación de un ladrillo con 40% de viruta

MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO (USD)	COSTO (USD)
Cemento Portland	kg	3.98	0.15	0.597
Arena limpia	m3	0.000552	10.25	0.006
Suelo natural	m3	0.000552	0.1	0.0001
Viruta de madera	m3	0.001840	1.00	0.001
TOTAL				0.60

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 32. Costo de fabricación de un ladrillo con 50% de viruta

MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO (USD)	COSTO (USD)
Cemento Portland	kg	3.31	0.15	0.496
Arena limpia	m3	0.000460	10.25	0.005
Suelo natural	m3	0.000460	0.00	0.0001
Viruta de madera	m3	0.002300	1.00	0.001
TOTAL				0.50

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Como se observa, la cantidad de arena necesaria para elaborar un ladrillo ecológico es tan pequeña que su valor en el costo final del ladrillo se pudiera despreciar, pero en cantidades grandes ya es considerable. Por otro lado, el costo de un ladrillo tradicional es de 35 centavos de dólar, (considerando que el rendimiento es muy

bueno porque los procesos de fabricación son industrializados) es decir, un valor inferior al de un ladrillo ecológico.

4.6. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

Mediante los diferentes análisis realizados se comprueba que es factible producir un ladrillo ecológico con cemento, suelo más arena y viruta en un 40-50%. El ladrillo elaborado con estos materiales alcanza una resistencia igual al ladrillo tradicional e incluso la supera gracias a su capacidad de seguir recibiendo carga mientras su deformación aumenta. Al realizar los ensayos se observa que a diferencia de un ladrillo tradicional que al llegar a su última resistencia prácticamente falla, un ladrillo ecológico se deforma y continúa recibiendo carga, además de su capacidad de recuperar parcialmente su forma al retirar la fuerza ejercida dentro de un rango.

El análisis económico en cambio, evidencia un aspecto favorable con el ladrillo tradicional pues su costo es menor, aunque sería necesario evaluar otros factores que influyen en dicho análisis. Por lo tanto, la hipótesis planteada respecto a resistencia se cumple pero no así desde el punto de vista económico, sin considerar los costos de optimización e industrialización.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Las dosificaciones propuestas dieron como resultado diferentes valores, luego del ensayo de compresión simple, siendo evidente una resistencia superior para las dosificaciones que contienen mayor cantidad de cemento, así también se observa que la viruta de madera proporciona ligereza al ladrillo y una resistencia óptima, mientras que el papel, si bien logra reducir significativamente el peso, reduce la resistencia del ladrillo. Las dosificaciones que alcanzan y superan la resistencia de un ladrillo tradicional, son las que contienen viruta de madera en un 40% y 50%.

- El costo de un ladrillo ecológico radica principalmente en la cantidad de cemento que lleva, lo que produce que su valor se incremente. En dosificaciones con un 36% de cemento, 24% de suelo más arena y 40% de viruta o papel, el costo de producción, manejando solo valores de materiales, sería de 60 centavos de dólar o en otras palabras un 71% más que un ladrillo tradicional, mientras que en dosificaciones con un 30% de cemento, 20% de suelo más arena y 50% de viruta o papel, el costo de producción, manejando solo valores de materiales, sería de 50 centavos de dólar o lo que es igual a 43% más que un ladrillo tradicional. Si bien el costo de un ladrillo ecológico es superior, se debe tener en cuenta otros factores como el peso, pues al ser aproximadamente 1kg más liviano implica que la

estructura base deberá soportar menos peso lo que reduciría costos en la construcción.

- Un ladrillo ecológico con 40% de viruta resiste 39 kgf/cm^2 (28%) más que un ladrillo tradicional, mientras que un ladrillo ecológico con 50% de viruta resiste 31 kgf/cm^2 (22%) más que un ladrillo tradicional. La resistencia de las otras dosificaciones se encuentra por debajo de la resistencia de un ladrillo tradicional, pero podrían compararse con la resistencia de un bloque de hormigón clase B.
- Otro factor importante es la capacidad del ladrillo ecológico de deformarse y seguir recibiendo carga a diferencia de un ladrillo tradicional que alcanza su resistencia máxima sin mayor deformación. Esta capacidad es importante pues le permitiría a una edificación tener un comportamiento más elástico.
- En el aspecto ecológico los ladrillos de esta investigación presentan varias ventajas frente al ladrillo tradicional, empezando por su elaboración que no necesita hornos de cocción lo que conduce a que no se generen grandes emisiones de CO y hollín, reduciendo así el impacto ambiental negativo.
- Otro factor importante es el material que se utiliza pues al reciclar un material común como la viruta, contribuimos de una excelente manera al cuidado del medio ambiente.

5.2. RECOMENDACIONES

- En cuanto al proceso de esta investigación se debe tener en cuenta el índice de plasticidad del suelo natural y tratar de reducirlo si es necesario, pues es fundamental para lograr una mezcla apropiada con el cemento y conseguir

la resistencia requerida. Además se debe procurar utilizar moldes con superficies lisas que aseguren un buen acabado del ladrillo, esto es importante al momento del ensayo de compresión simple pues la carga se distribuirá de manera uniforme. Finalmente, se deberá respetar el tiempo de curado de 28 días de curado.

- Continuar con la investigación de materiales ecológicos que puedan reemplazar a los tradicionales, profundizar más sobre el aspecto económico de los ladrillos con un porcentaje de viruta considerando otros factores importantes al momento de construir. Así también, comparar con otros elementos como bloques de pómez y de hormigón, y variar las dimensiones de los elementos utilizados en esta investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. (1998). *Norma ASTM D420. Guía Estandar para la caracterización del sitio para el diseño de ingeniería y propósitos de construcción*. West Conshohocken, Estados Unidos: ASTM International.
- BAÑÓN , L., & BEVIÁ, J. F. (2000). *Manual de carreteras. Volumen II: construcción y mantenimiento* (Vol. 2). Alicante, España: Ortiz e Hijos, Contratista de Obras, S.A. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10045/1787>
- BARRIENTOS, M., & SORIA, C. (2013). *Index Mundi*. Obtenido de <https://www.indexmundi.com/>
- Begliardo, H., SÁNCHEZ, M., PANIGATTI, M. C., CASENAVE, S., & FORNERO, G. (2006). Ladrillos de suelo-cemento elaborados con suelos superficiales y barros de excavación para pilotes. Ponencia. *Reciclado de residuos de construcción y demolición (RCD) y de residuos de procesos (RP) PROCQMA*.
- CADENA, G. (2013). *Mejoramiento de las propiedades mecánicas de concretos puzolánicos para incrementar su resistencia ante ataques de sulfatos*. Querétaro, México: Universidad Autónoma de Querétaro.
- CARRASCO, M. (2013). *Tecnología del hormigón*. Santa Fe, Colombia: Universidad Tecnológica Nacional.
- COYASAMÍN, O. (2016). *Análisis comparativo de la resistencia a compresión del hormigón tradicional, con hormigón adicionado con cenizas de cáscara de arroz (cca) y hormigón adicionado con cenizas de bagazo de caña de azúcar (cbc)*. (Tesis de pregrado). Ambato, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.
- DAS, B. M. (1995). *Fundamentos de Ingeniería geotécnica*. Sacramento, California: Thompson Learning.
- DEL CAMPO, M. (1963). La determinación del agua de amasado en morteros y hormigones fraguados. *Materiales de Construcción*, 13(111), 36-45.
- GATANI, M. (2000). Ladrillos de suelo-cemento: Mampuesto tradicional en base a un material sostenible. *Informes de la Construcción*, 51(466), 35- 47.
- INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. (1982). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 691: Mecánica de suelos. Determinación del límite líquido*. Quito, Ecuador: Publicación Oficial.
- INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. (1982). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 692: Mecánica de suelos. Determinación del límite plástico*. Quito, Ecuador: Publicación Oficial.
- INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. (2011). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 154. Tamices de ensayo. Dimensiones nominales de las aberturas*. Quito, Ecuador: Publicación Oficial.

- INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. (2011). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 696: Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso*. Quito, Ecuador: Publicación Oficial.
- INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. (2016). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 3066. Bloques de hormigón. Requisitos y métodos de ensayo*. Quito, Ecuador: Publicación Oficial.
- INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. (2007). *Norma INV. E 102. Descripción e identificación de suelos (Procedimiento visual y manual)*. Bogotá, Colombia: Publicación Oficial.
- PIEDRA, B. (2014). *Estudio para analizar el ladrillo de suelo cemento o ecológico en Cuenca (Tesis de pregrado)*. Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador.
- ROSETO, O. (2006). Bloques con Mezclas Hipercomprimidas de Suelo-Cemento. *Revista Cemento(7)*, 11-13.

ANEXOS

INSTRUMENTOS UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN

A continuación se muestran los diferentes instrumentos y equipos de laboratorio que sirvieron para llevar a cabo la investigación y fabricación de los ladrillos ecológicos.



Fotografía 1. Moldes de madera para los ladrillos



Fotografía 2. Tamices utilizados para granulometría



Fotografía 3. Batidora HOBART para homogenizar el papel



Fotografía 4. Cuchara de Casagrande para determinar el límite líquido

EVIDENCIAS DEL PROCEDIMIENTO

Diferentes pasos que se siguieron para la elaboración de ladrillos ecológicos se evidencian a continuación, empezando con el procedimiento realizado con el suelo natural para determinar sus límites de Attemberg.



Fotografía 5. Reducción de partículas consolidadas



Fotografía 6. Lavado de material retenido en el tamiz No.200



Fotografía 7. Determinación del límite líquido



Fotografía 8. Determinación del límite plástico

LADRILLOS ECOLÓGICOS ACABADOS

Luego del procedimiento ya descrito se obtienen los ladrillos ecológicos, a continuación se muestra el resultado final luego de los 28 días.



Fotografía 9. Ladrillos con 40% de viruta, con curado en pileta



Fotografía 10. Ladrillos con 40% de viruta, sin curado en pileta



Fotografía 11. Ladrillos con 40% de papel, con curado en pileta



Fotografía 12. Ladrillos con 60% de viruta, sin curado en pileta

ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN



Fotografía 12. Ladrillo con 60% de viruta



Fotografía 13. Ladrillo tradicional macizo



Fotografía 14. Ladrillo con 50% de papel curado en pileta, luego del ensayo



Fotografía 15. Ladrillo con 60% de papel curado en pileta, al momento de ser ensayado libera agua en exceso

LINKS: VIDEOS DE LOS ENSAYOS A COMPRESIÓN SIMPLE

Ladrillo ecológico con 40% de Papel: <https://goo.gl/Hj71FG>

Ladrillo ecológico con 50% de Papel: <https://goo.gl/k79ukN>

Ladrillo ecológico con 60% de Papel con curado: <https://goo.gl/SLjD1Z>

Ladrillo ecológico con 60% de Papel con curado: <https://goo.gl/S28hw1>

Ladrillo ecológico con 40% de Viruta: <https://goo.gl/CWa6vK>

Ladrillo ecológico con 50% de Viruta: <https://goo.gl/A5uvKu>

Ladrillo ecológico con 60% de Viruta: <https://goo.gl/NP82HW>

Ladrillo ecológico con 40% de Viruta más papel: <https://goo.gl/EJmTGq>

Ladrillo Tradicional: <https://goo.gl/fxEKSc>