Pontificia Universidad Católica del Ecuador

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

DISERTACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Tema: "Caracterización de materiales para la elaboración de un mampuesto utilizando suelos finos del Ecuador, melaza y ceniza de bagazo de caña de azúcar"

AUTORES:

JACOBO NICOLÁS ARBOLEDA ROMERO

DIANA CAROLINA CARDENAS IBUJES

DIRECTOR:

ING. JORGE DAVID ALBUJA SÁNCHEZ, MSC.

QUITO, JUNIO DEL 2022

Agradecimiento

Agradezco a Dios que siempre ha estado a mi lado acompañándome y bendiciéndome cada día, el cual me da fuerzas para seguir adelante, nos demuestra que cada problema tiene una solución y que todo en la vida pasa por algo llenándonos de enseñanzas; nos enseña a ser agradecidos con cada etapa de la vida ya que levantarnos cada día es una bendición.

A mis padres, Paul y Aida ya que sin ellos no hubiese sido posible cumplir este logro, enseñándome cada día que con esfuerzo y perseverancia se logran las cosas, siempre siendo mi apoyo incondicional, dándome consejos cuando los necesito y esforzándose mucho cada día en su trabajo para que yo pudiera culminar mis estudios. Muchas Gracias papis por todo su esfuerzo.

A mis hermanos Diego y Doménica que son mi motor para seguir adelante, siempre apoyándome, aconsejándome y ayudándome en todo lo que se pueda, siendo mis cómplices en las travesuras. Demostrándoles que cada meta que uno se proponga se debe cumplir.

A mi novio Jimmy Lamiña que en el transcurso de la carrera siempre fue mi apoyo brindándome su cariño, ayudándome a estudiar y por su paciencia a lo largo de cada semestre.

Muchas gracias.

Diana Carolina Cárdenas Ibujés

Dedicatoria

Este logro quiero dedicarles a mis Angelitos del cielo los cuales partieron en el año 2021; primer lugar mis abuelitos Olga y Carlos los cuales fueron muy importante a lo largo de mi vida, gracias por cada una de las enseñanzas en cada etapa de mi vida las cuales quedaran para toda la vida; no pudieron verme cumplir esta meta, pero sé que desde el cielo están orgullosos porque culminé con esta etapa de mi vida. Los extraños abuelitos.

Segundo lugar a Mi mejor amiga Alejandra la cual siempre fue mi cómplice, mi apoyo, mi alcahueta, mi soporte en cada momento de mi vida, era esa persona incondicional que siempre estuvo para mí durante nuestros 15 años de amistad, gracias por tu amistad a lo largo de este tiempo; siempre serás mi mejor amiga. Te extraño y siempre te recordare.

Se que mis angelitos están orgullosos de verme culminar una etapa más en vida, Siempre los recodare y los pienso todos los días. Gracias por tanto amor.

Diana Carolina Cárdenas Ibujés

Agradecimiento

A mi Madre y a mi Padre, estuvieron a mi lado en cada batalla librada, constantes en los caminos difíciles, mi apoyo infalible en las derrotas y absolutamente merecedores de todos mis triunfos.

Agradezco a todos aquellos trabajadores que directa o indirectamente apoyaron el desarrollo de esta investigación desde sus inicios. A los profesores de la facultad de Ingeniería que supieron resolver con sabiduría, educación, cordialidad y respeto aquellas inquietudes que se generaron en el proceso de aprendizaje.

A mis hermanos, mis amigos y compañeros por las experiencias aprendidas en el camino las cuales fueron determinantes en la formación del carácter necesario para poder culminar la carrera de ingeniería Civil en la Universidad más prestigiosa del Ecuador.

Jacobo Nicolás Arboleda Romero

Dedicatoria

A mi familia, A todas las personas que ya no están en este mundo que siempre quisieron que llegara el día de la culminación de mi carrera en especial a mis Tíos y a mis amigos que sé que desde algún lugar se alegran por este triunfo alcanzado.

A todos aquellos que aún se preguntan por qué todos los días y no descansan hasta conocer un poco más sobre aquello. A las personas que investigan con el fin último de simplemente ampliar su conocimiento.

Jacobo Nicolás Arboleda Romero

Resumen

Esta investigación consiste en elaborar un mampuesto utilizando suelos finos del Ecuador, melaza y ceniza, con el cual se busca descubrir una alternativa en la elaboración de los mampuestos usados en las construcciones utilizando así materiales de reciclaje para poder ayudar a reducir la contaminación.

El suelo que se utilizó para la investigación se obtuvo del barrio San Lorenzo ubicado en la parroquia Conocoto perteneciente al Distrito Metropolitano de Quito en la ubicación (0°18'60.0"S; 78°30'03.7"W).

La ceniza de la caña de azúcar es residuo relevante en las industrias de azúcar y etanol del Ecuador, así como la producción de la melaza, los dos materiales se obtienen de las industrias azucareras.

Con esta investigación se pretende combinar los tres materiales y determinar cuál sería la mejor dosificación de cada material o la cantidad adecuada para crear el mampuesto y verificar cuál sería su comportamiento final comparando las propiedades físicas (absorción, resistencia a la compresión y flexión) de este con los tradicionales, así mismo los valores finales se verificarán con normativa nacionales e internacionales.

Se desarrollan dos metodologías para la creación del ladrillo, estas se basan en principios debidamente fundamentados, se realiza un análisis comparativo entre los resultados obtenidos de cada una de las metodologías como también entre ellas.

Abstract

This research consists of elaborating a masonry using fine soils of Ecuador, molasses, and ash, with which it is sought to discover an alternative in the elaboration of the masonry used in the constructions thus using recycling materials to help reduce pollution.

The soil that was used for the research was obtained from the San Lorenzo neighborhood located in the Conocoto parish belonging to the Metropolitan District of Quito in the location (0°18'60.0"S; 78°30'03.7"W).

Ash from sugar cane is relevant residue in the sugar and ethanol industries of Ecuador, as well as the production of molasses, the two materials are obtained from the sugar industries.

With this research it is intended to combine the three materials and determine what would be the best dosage of each material or the appropriate amount to create the masonry and verify what would be its final behavior by comparing the physical properties (absorption, resistance to compression and bending) of this with the traditional ones, likewise the final values will be verified with national and international regulations.

Two methodologies are developed for the creation of the brick, these are based on duly founded principles, a comparative analysis is carried out between the results obtained from each of the methodologies as well as between them.

Índice de contenido

Agradecimiento ..... **I**

Dedicatoria ..... **II**

Agradecimiento ..... **III**

Dedicatoria ..... **IV**

Resumen ..... **V**

Abstract ..... **VI**

Índice de Tablas ..... **XI**

Índice de Gráficos ..... **XIV**

Índice de Fotografías ..... **XV**

Índice de Figuras ..... **XVII**

Índice de Ecuación ..... **XVIII**

Capítulo 1: Generalidades **1**

1.1. Introducción 1

1.2. Reseña del proyecto 3

1.3. Objetivos 3

1.4. Alcance 4

1.5. Marco conceptual 5

2. Capítulo 2: Caña de azúcar y sus derivados **7**

2.1. Generalidades 7

2.2. Usos de la caña de azúcar 10

2.3. Producción de la caña de azúcar en el Ecuador 11

2.4. Bagazo de la caña de azúcar 17

2.4.1. Ceniza del bagazo de la caña de azúcar (CBCA) 21

2.5. Melaza 25

2.5.1. Composición 28

3. Capítulo 3: Ladrillos.....31

3.1. Antecedentes.....31

3.2. Características.....33

3.3. Tipos.....34

3.4. Uso.....35

3.5. Ladrillos artesanales y su elaboración.....36

4. Capítulo 4: Caracterización de Materiales.....37

4.1. Suelo.....37

4.1.1. Ensayos.....39

4.2. Ceniza del bagazo de la caña de azúcar (CBCA).....53

4.3. Melaza.....55

5. Capítulo 5: Elaboración del mampuesto en base a la densidad Máxima por el Método de Compactación Proctor.....58

5.1. Fundamentación teórica del procedimiento.....58

5.1.1. Proctor Estándar.....59

5.2. Preparación de materiales a emplearse.....59

5.2.1. Suelo.....59

5.2.2. Ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA).....60

5.2.3. Melaza.....64

5.3. Desarrollo del método 1.....65

5.3.1. Mezcla.....66

5.3.2. Obtención de la Densidad máxima y humedad óptima.....67

5.3.3. Reconstitución de la muestra.....67

5.3.4. Proceso de cocción de las probetas.....68

5.3.5. Ensayos de Absorción y Resistencia a compresión simple.....71

5.4. Resultados obtenidos.....74

5.4.1. Suelo y agua.....74

5.4.2. Suelo, CBCA y agua.....79

5.4.3. Suelo, Melaza y agua 90
5.5. Mampuesto con melaza, CBCA y suelo. 95

6. Capítulo 6: Elaboración del mampuesto mediante el criterio de vibración controlada. 98

6.1. Fundamentación teórica del procedimiento 98
6.2. Preparación de materiales a emplearse 103
6.2.1. Agua 103
6.3. Sistema de vibración controlada 104
6.3.1. Fundamentación teórica del sistema de vibrado 104
6.3.2. Desarrollo de la máquina 106
6.3.3. Molde 110
6.3.4. Funcionamiento 118
6.4. Desarrollo del método 2 119
6.4.1. Mezcla 120
6.4.2. Colocación y vibrado de la mezcla en estado fresco 123
6.4.3. Desencofrado de las muestras 125
6.4.4. Cocción 125
6.4.5. Ensayos realizados en el ladrillo 127
6.5. Mampuesto final 136

7. Capítulo 7: Estimación del costo de producción del ladrillo. 143

7.1. Línea de producción 143
7.2. Inversión inicial 145
7.3. Cantidades de material para el mampuesto 146
7.4. Valor de cada material por unidad de análisis. 147
7.4.1. Suelo 147
7.4.2. Ceniza 148
7.4.3. Melaza 148
7.4.4. Agua 149
7.5. Costo directo para la fabricación del mampuesto. 150

7.5.1. Materiales empleados 150
7.5.2. Mano de obra 150
7.5.3. Electricidad 151
7.5.4. Combustibles orgánicos 152
7.5.5. Combustible Fósil 153
7.6. Costo indirecto para la elaboración del mampuesto. 154
7.6.1. Recursos humanos 154
7.6.2. Gastos administrativos 155
7.7. Recopilación de los valores de los costos directos e indirectos 156
7.7.1. Costos directos 156
7.7.2. Costos indirectos 156
7.8. Costo de fabricación del mampuesto 157
8. Capítulo 8: Conclusiones y Recomendaciones 158
8.1. Conclusiones 158
8.1.1. Conclusiones Cualitativas 158
8.1.2. Conclusiones cuantitativas 159
8.2. Recomendaciones 172
9. Capítulo 9: Bibliografía 177
Anexos 182
Anexo 1: Construcción del sistema de vibración 182
Anexo 2: Ficha técnica de la melaza Ingenio Azucarero del Norte 185

Índice de Tablas

Tabla 1. Producción Mundial de Caña de Azúcar....9
Tabla 2. Ingenios Azucareros del Ecuador 14
Tabla 3. Componentes de la Melaza. 28
Tabla 4. Composición de la melaza necesaria para ser comercializada en el Ecuador 29
Tabla 5. Datos de Contenido de Humedad....40
Tabla 6. Resultados Contenido de humedad 40
Tabla 7. Datos gravedad especifica....42
Tabla 8. Datos Limite plástico 44
Tabla 9. Resultados Limite plástico 44
Tabla 10. Datos Limite plástico 46
Tabla 11. Resultados Limite plástico 47
Tabla 12. Análisis granulométrico por tamizado 51
Tabla 13. Análisis granulométrico 51
Tabla 14. Composición de la melaza empleada 56
Tabla 15. Datos curva de compactación suelo pasado tamiz #40 75
Tabla 16. Datos curva de compactación suelo natural pasado tamiz #4 76
Tabla 17. Datos ensayo de Resistencia de compresión suelo natural 77
Tabla 18. Datos ensayo de Absorción suelo natural 78
Tabla 19. Mezclas realizadas con Suelo y CBCA....80
Tabla 20. Datos curva de compactación mezcla 1 81
Tabla 21. Datos curva de compactación mezcla 2 82
Tabla 22. Datos curva de compactación mezcla 3 83
Tabla 23. Datos curva de compactación mezcla 4 84
Tabla 24. Datos curva de compactación mezcla 5 85
Tabla 25. Datos curva de compactación mezcla 6 86
Tabla 26. Datos curva de compactación mezcla 7 87
Tabla 27. Datos del ensayo Resistencia a compresión de suelo y CBCA....88
Tabla 28. Datos de ensayo de Absorción de suelo y CBCA 89

Tabla 29. Desarrollo de la Metodología 1 92
Tabla 30. Datos del ensayo Resistencia a compresión de suelo y Melaza 92
Tabla 31. Datos de ensayo de Absorción de suelo y Melaza 94
Tabla 32. Cantidades de material para el mampuesto final 96
Tabla 33. Porcentajes de mezcla con CBCA 121
Tabla 34. Porcentaje de Mezcla con Melaza 122
Tabla 35. Mezclas realizadas con Agua, CBCA y Melaza 123
Tabla 36. Datos ensayo Resistencia a la compresión de suelo 127
Tabla 37. Datos ensayo de Absorción de suelo natural 129
Tabla 38. Datos ensayo Resistencia a la compresión de suelo y CBCA 130
Tabla 39. Datos ensayo de Absorción de suelo y CBCA 131
Tabla 40. Datos ensayo Resistencia a la compresión de suelo y Melaza 132
Tabla 41. Datos ensayo de Absorción de suelo y Melaza 133
Tabla 42. Mezclas realizadas con Agua, CBCA y Melaza 134
Tabla 43. Datos ensayo Resistencia a la compresión de suelo, CBCA y Melaza 134
Tabla 44. Datos ensayo de Absorción de suelo, CBCA y Melaza 135
Tabla 45 Resultado Resistencia a la compresión mampuesto final. 138
Tabla 46. Resultado Absorción mampuesto final 138
Tabla 47. Resultado Resistencia a la flexión mampuesto final 140
Tabla 48. Densidad Aparente Metodología 1 140
Tabla 49. Densidad Aparente Metodología 2 141
Tabla 50. Aproximación a la inversión inicial 145
Tabla 51. Dimensiones del mampuesto final 146
Tabla 52. Porcentajes de los materiales en el mampuesto final 146
Tabla 53. Cantidades en gramos del mampuesto final 147
Tabla 54. Precio del Suelo por kg 147
Tabla 55. Precio de CBCA por kg. 148
Tabla 56. Precio de la Melaza por kg. 148
Tabla 57. Precio del agua por M3. 149
Tabla 58. Precio de la materia prima por cada ladrillo. 150
Tabla 59. Precio de la mano de obra por cada ladrillo 150
Tabla 60. Precio de la electricidad por cada ladrillo 151

Tabla 61. Precio de los combustibles orgánicos por cada ladrillo 152
Tabla 62. Precio del combustible fósil por cada ladrillo.....153
Tabla 63. Precio del personal por cada ladrillo.....154
Tabla 64. Precio del personal por cada ladrillo.....155
Tabla 65. Total de los costos directo por unidad de ladrillo 156
Tabla 66. Total de los costos directo por unidad de ladrillo. 156
Tabla 67. Costo de la fabricación del mampuesto. 157

Índice de Gráficos

Gráfico 1. Cantidad de caña de azúcar en el mundo año 2020. (FAOSTAT, n.d.). Elaboración propia. 10
Gráfico 2. Limite Liquido. 47
Gráfico 3. Clasificación SUCS (Norma ASTM D2487). 49
Gráfico 4. Curva granulométrica del suelo. 52
Gráfico 5. Curva de compactación de suelo pasado el tamiz #40. 76
Gráfico 6. Curva de compactación pasado el tamiz #4. 77
Gráfico 7. Resistencia a la compresión del suelo. 78
Gráfico 8. Absorción del suelo 79
Gráfico 9. Curva de compactación mezcla 1. 81
Gráfico 10. Curva de compactación mezcla 2. 82
Gráfico 11. Curva de compactación mezcla 3. 83
Gráfico 12. Curva de compactación mezcla 4. 84
Gráfico 13. Curva de compactación mezcla 5. 85
Gráfico 14. Curva de compactación mezcla 6. 86
Gráfico 15. Curva de compactación mezcla 7. 87
Gráfico 16. Resistencia a la compresión Suelo-CBCA. 88
Gráfico 17. Absorción suelo-CBCA. 90
Gráfico 18. Resistencia a la compresión suelo-melaza. 93
Gráfico 19. Absorción suelo-melaza. 94
Gráfico 20. Granulometría del suelo desde el tamiz #40. 99
Gráfico 21. M.A.S de la máquina de vibración 102
Gráfico 22. Resistencia a la compresión suelo 128
Gráfico 23. Absorción suelo. 129
Gráfico 24. Resistencia a la compresión suelo-CBCA. 130
Gráfico 25. Absorción de suelo-CBCA. 131
Gráfico 26. Resistencia a la compresión suelo- melaza. 132
Gráfico 27. Absorción suelo-melaza. 133
Gráfico 28. Resistencia a la compresión suelo-Melaza-CBCA. 135

Gráfico 29.Absorción Suelo-Melaza- CBCA. 136

Índice de Fotografías

Fotografía 1. Sitio de recolección del suelo. 38
Fotografía 2. Ensayo de Gravedad Especifica 41
Fotografía 3. Limite Plástico.....43
Fotografía 4. Ensayo Limite Liquido. 45
Fotografía 5. Copa Casagrande, ensayo limite líquido. 46
Fotografía 6. Granulometría por tamices. 50
Fotografía 7. Planta del Ingenio Azucarero del Norte. 54
Fotografía 8. Camiones con la cosecha de la caña de azúcar en la planta del Ingenio Azucarero. 54
Fotografía 9. Almacenamiento de las cenizas del bagazo de la caña de azúcar. 55
Fotografía 10. Densidad de la melaza. 57
Fotografía 11. Muestra de suelo pasa tamiz #4. 60
Fotografía 12. Muestra de suelo pasado tamiz #40. 60
Fotografía 13. Ceniza del bagazo de la caña de azúcar con residuos incinerados. 61
Fotografía 14. CBCA con agua (extracción del agua). 64
Fotografía 15. CBCA seca. 64
Fotografía 16. Melaza para la investigación. 65
Fotografía 17. Extracción de las muestras con gata mecánica. 67
Fotografía 18. Muestra ya extraída. 68
Fotografía 19. Muestras en cocción. 68
Fotografía 20. Probetas con refrentado de yeso 73
Fotografía 21. Ensayo de compresión simple 74
Fotografía 22. Mezcla de suelo con CBCA 80
Fotografía 23. Mampuesto final metodología 1. 97
Fotografía 24. Densidad del agua.....103
Fotografía 25. Sistema de vibración.....104
Fotografía 26. Vista en planta del sistema de vibración. 105

Fotografía 27. Vista lateral sistema de vibración. 105
Fotografía 28. Base. 106
Fotografía 29. Rueda. 107
Fotografía 30. Manivela. 107
Fotografía 31. Barra de transmisión de movimiento. 108
Fotografía 32. Base movible. 109
Fotografía 33.Soportes laterales. 110
Fotografía 34. Moldes para la fabricación del mampuesto. 111
Fotografía 35. Pieza #1. 112
Fotografía 36. Pieza # 2. 113
Fotografía 37. Pieza #3. 113
Fotografía 38. Armado de piezas. 114
Fotografía 39. Pieza #4. 114
Fotografía 40. Base para asentar el molde. 115
Fotografía 41. Pernos de compresión. 115
Fotografía 42. Pernos de ajuste entre el molde y la base. 116
Fotografía 43. Pernos de ajuste al sistema de vibración. 117
Fotografía 44. Elementos para armar el molde para los ladrillos. 118
Fotografía 45. Mezcla de Suelo, Agua y Melaza. 122
Fotografía 46. Llenado de la mezcla en los moldes. 124
Fotografía 47. Muestras enrasadas. 124
Fotografía 48. Secado al aire de los mampuestos. 125
Fotografía 49. Mampuestos en la mufla antes de la cocción. 126
Fotografía 50. Mampuestos salidos de la mufla. 126
Fotografía 51. Mampuesto final después de la cocción. 137
Fotografía 53. Ensayo de la parafina en la metodología 1. 141
Fotografía 54. Ensayo de la parafina metodología 2. 142

Índice de Figuras

Figura 1. Producción de cultivo caña de azúcar. (INEC, 2021).....15
Figura 2. Superficie cosechada por provincia en hectáreas. (INEC, 2021) 16
Figura 3. Producción de cultivos permanentes. (INEC, 2021) 16
Figura 4.Participación en la superficie planta total.(INEC, 2021).....17
Figura 5. Etapas de la ceniza del bagazo de la caña de azúcar. 22
Figura 6. Cenizas quemadas a varias temperaturas. (Navarrete & Rubio, 2018). 23
Figura 7. Proceso Productivo de la ceniza en los Ingenios Azucareros.(Solórzano-Sánchez, 2014). 25
Figura 8. Proceso de obtención de la Melaza. (IESSON, 2011). Elaboración propia. 27
Figura 9. Partes de un ladrillo.(Cachago & Caguano, 2016). 33
Figura 10. Elaboración de los ladrillos artesanales (Cachago & Caguano, 2016).....36
Figura 11. Composición Química referencial de la CBCA. (CHÁVEZ, 2017).....53
Figura 12. Esquema del sistema hidráulico.....62
Figura 13. Combinaciones método 1. 66
Figura 14. Curva de Incremento de Temperatura del Horno empleada. 70
Figura 15. Mezclas con Melaza, Metodología 1. 91
Figura 16. Porcentajes de material del mampuesto final. 95
Figura 17. Esquema del molde con sus piezas 111
Figura 18. Combinaciones del Método 2. 119
Figura 19. Dimensiones del mampuesto desarrollado. 120
Figura 20. Porcentajes de los materiales para el mampuesto final. 137
Figura 21. Línea de producción. 144

Índice de Ecuación

Ecuación 1. Contenido de humedad.....40
Ecuación 2. Gravedad Específica.....41
Ecuación 3. Limite Plástico.....44
Ecuación 4. Limite Liquido.....46
Ecuación 5. Índice de Plasticidad.....48
Ecuación 6. Absorción. 72
Ecuación 7. Resistencia a la Compresión. 74
Ecuación 8. Resistencia a la flexión.....139

Capítulo 1: Generalidades

1.1. Introducción

La industria de la construcción es uno de los sectores económicos más importantes a nivel mundial, lo que constituye un décimo de la economía global y los edificios utilizan el 40% de la energía en todo el mundo y es responsable de del 50% de las emisiones de CO2 al ambiente (Mendoza Cantos & Vanga Arvelo, 2020). El Ecuador se encuentra en una situación privilegiada con respecto a materiales pétreos para construcción por lo cual algunas empresas trasnacionales han decidido explotar los recursos sin observar en la medida adecuada el respeto al medio ambiente privilegiando sus intereses económicos

La cantidad de recursos en términos de minerales que ingresan al sector de la construcción representa el 40.84% del total de recursos utilizados (Charro & Gaudry, 2020), la afectación se expresa de manera directa al medio ambiente por los métodos de extracción empleados en este tipo de minería, principalmente en la producción de insumos de la construcción como el cemento portland. Los mampuestos elaborados con materiales que generan un bajo impacto al medio ambiente son deseables, pero no obligatorios en el país.

El crecimiento de desechos tales como plásticos, vidrios y arcillas quemadas, metales (principalmente aluminio, hierro y cobre), papel, etcétera, aumenta constantemente cada día, así como la escasez de espacios para depositarlos y la carencia de materias primas, extreman la emergencia de encontrar maneras innovadoras de reciclar y reusar los materiales de desecho (Gonzáles & Ponce, 2012).

Los materiales que son utilizados para la mampostería son denominados mampuestos que son: ladrillos, bloques de cemento, piedras talladas, etc. Siendo estos materiales tradicionales durante mucho tiempo. Los ladrillos tradicionales cocidos como material de construcción datan de hace más de 5000 años (Pippo et al., 2009). Éstos han permitido la construcción de edificios duraderos y confortables. Los Romanos, grandes innovadores de la arquitectura, ya utilizaban en sus construcciones los ladrillos cocidos y antes de estos los adobes tradicionales ya que eran buenos conocedores de sus buenas propiedades haciendo gran uso de este tipo de materiales durante toda su historia. A finales del siglo XX, los ladrillos cocidos fueron usados generalmente en estructuras de media y baja altura, como revestimiento en muros de hormigón, pilares de acero y en tabiquería interna. (Hart & Powell, 2010).

En el Ecuador, el uso que se le da al bagazo de azúcar es escaso debido a que no existen las suficientes investigaciones, solo se lo utiliza como complemento alimenticio y en otros casos como combustible para calderos, en la provincia de Loja se utiliza al bagazo de caña de azúcar en la fabricación de tableros aglomerados.

En varios estudios se ha demostrado que la CBCA presenta un elevado contenido de sílice (SiO2) y alúmina (Al2O3), que le dan una buena actividad puzolánica como sustituto parcial del cemento portland y constituye una valiosa alternativa que representa un doble beneficio, por un lado, valoriza un desecho y por otro, contribuye a la reducción de gases de efecto invernadero liberados durante la manufactura de cemento (0.85-1 kg cO2/kg cemento), en consecuencia se plantea la fabricación de un mampuesto ecológico utilizando materiales reciclables en este caso ceniza de bagazo de caña de azúcar, reduciendo el impacto al medio ambiente que sea capaz de

cumplir con los requisitos técnicos establecidos en las normas y que pueda introducirse en el mercado de la construcción. (Escandón et al., 2012).

La basta cantidad de suelo disponible en la serranía ecuatoriana producto de la sedimentación de ceniza volcánica perteneciente a la Cordillera de los Andes facilita la elaboración de ladrillos gracias a las propiedades cementantes que posee, actualmente se utiliza de forma artesanal para elaborar ladrillos. La capacidad que tiene este material sumado a las propiedades de la ceniza y la melaza plantean varias inquietudes resueltas en la presente investigación

1.2. Reseña del proyecto

El desarrollo de este trabajo empieza con el capítulo 1 en el cual se describe la introducción, objetivos y alcance; en el capítulo 2 se explica la producción y el origen de los materiales a utilizarse (ceniza de bagazo de caña de azúcar y melaza); el procedimiento para la elaboración del mampuesto se expone en el capítulo 3; en el capítulo 4 se detalla las características de los materiales y se especifica el procedimiento general que se desarrolla en la experimentación; la caracterización físico mecánica del mampuesto final en el capítulo 5; capítulo 6 se detalla los costos de fabricación de mampuesto final de manera aproximada; el uso y la aplicación del mampuesto fabricado se especifica en el capítulo 7. Finalmente, en el capítulo 8 producto de la investigación realizada anteriormente se manifiesta las respectivas conclusiones y recomendaciones**.**

1.3. Objetivos

Objetivo General

- Diseñar un mampuesto de construcción utilizando depósitos de ceniza volcánica consolidada y material orgánico (ceniza de bagazo de caña y melaza)

Objetivos Específicos

- Especificar las características químicas de la melaza utilizada para la elaboración del mampuesto
- Determinar las propiedades mecánicas de las muestras elaboradas mediante ensayos de laboratorio de tipo: compresión, flexión y absorción, para así compararlas con las de un ladrillo tradicional.
- Realizar una aproximación hacia los costos de fabricación del producto resultante considerando el mejor resultado obtenido.
- Efectuar un análisis comparativo entre las metodologías empleada considerando como parámetros principales la resistencia a la compresión relacionada con la densidad y la absorción de las muestras finales.
- Identificar el porcentaje de humedad necesario para lograr un reacomodo de las partículas considerando el sistema de vibración empleado.

1.4. Alcance

Considerando a la metodología establecida por normativa nacional e internacional actualizada hasta la fecha, se pretende determinar tanto las características físicas de los materiales que conforman un mampuesto como las propiedades mecánicas del mampuesto ya conformado.

Por la ausencia de información técnica sobre los procedimientos y materiales a emplearse en un principio se plantea una investigación de tipo exploratoria, se considerarán para la investigación los criterios establecidos por la experiencia obtenida por procedimientos empíricos como también investigaciones formales de temas similares. Consideradas ya las características y definidos los procedimientos de fabricación del mampuesto se evaluarán las alternativas de diseño.

Para el proceso de diseño se realizarán estudios utilizando como herramienta la correlación de estudios desarrollados previamente en la elaboración de mampuestos, en una primera etapa se analizarán las proporciones de ceniza, melaza y suelo producto de esta experimentación se escogerá la combinación de materiales en función a la resistencia a la compresión, se realizarán ensayos a utilizando únicamente suelo, suelo y ceniza, suelo melaza y finalmente suelo ceniza y melaza.

Se evaluará el material seleccionado en absorción, resistencia a la compresión, todo esto se realizará únicamente a un tiempo y a una misma temperatura de cocción. Se realizará un análisis de costos referenciales con respecto a los ladrillos ofertados en el mercado nacional considerando los resultados obtenidos en la investigación y su optimización en la implementación de ellos por metro cuadrado de construcción.

1.5. Marco conceptual

Melaza: Norma ICONTEC 587 (1994), define como miel final o melaza (no cristalizable) al jarabe o líquido denso y viscoso, separado de la misma masa cocida final y de la cual no es posible cristalizar más azúcar por métodos usuales (Fajardo & Sarmiento, 2007).

Bagazo de la caña de azúcar: Es el material que queda como residuo de la caña de azúcar, una vez que se ha extraído de esta el jugo (Trupal, 2020).

Ceniza del bagazo de la caña de azúcar (CBCA): La ceniza de bagazo de caña de azúcar constituye un subproducto de la industria azucarera que proviene de la quema del bagazo de la caña de azúcar, elemento que es utilizado como combustible en los hornos y a veces desechado por las industrias (García Vélez, 2019).

Ladrillo: Pieza de cerámica de forma ortoédrica y de poco grosor, formada a partir de arcilla amasada secada y cocida, que se utiliza para construir muros, pavimentos, etc. (Construmatica, 2011).

Ladrillo tradicional: Se entiende por ladrillo tradicional en la presente investigación, como aquel que se encuentra disponible en el mercado y cumple con los requisitos establecidos por la normativa nacional vigente (*Real Academia Española*, n.d.).

Mampuesto: El diccionario de (*Real Academia Española*, n.d.) establece: "dicho de un material: que se emplea en una obra de mampostería", definición que resulta más adecuada para el elemento a ser constituido, puesto que su noción de carácter general permite que sea adoptada para el material de construcción a ser elaborado.

2. Capítulo 2: Caña de azúcar y sus derivados

Este capítulo desarrolla los usos de la caña de azúcar, su producción a nivel mundial histórica y en el Ecuador actualizados hasta el año 2021, los derivados de la caña de azúcar en especial la Ceniza producida por la incineración del bagazo de caña (CBCA), las características y propiedades de la melaza producida industrialmente y sus orígenes, ya que estos materiales son los que se utilizan en esta investigación.

2.1. Generalidades

La caña de azúcar es una planta gramínea tropical conocida científicamente como Saccharum officinarum, que se caracteriza por la acumulación de sacarosa en su tallo en el período de maduración teniendo gran importancia mundial en la producción de azúcar y sus derivados (Zambrano, 2017).

Según Plantasmania, (2010) La caña de azúcar es una planta muy conocida y que en ocasiones es confundida con el bambú debido a su parecido.

Procede de extremo Oriente, desde donde llegó a España (concretamente a las zonas de Málaga y Motril) en el s.IX para posteriormente expandirse por América en el s. XV. Hoy, muchos países latinoamericanos se encuentran como grandes productores de caña de azúcar (InfoAgro, 2011).

El cultivo de la caña de azúcar está considerado entre los más importantes a nivel mundial, por su importancia en la alimentación humana que le ha mantenido como prioridad en su producción, la cual se circunscribe a la región intertropical (Zambrano, 2017).

La caña de azúcar es uno de los cultivos de importancia mundial tanto para la alimentación como para la industria. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura – FAO (por sus siglas en inglés), se estiman alrededor de 30 millones de hectáreas sembradas en el mundo, y se prevé un incremento en muchas regiones, debido a la ventaja específica que posee y permite a los molinos alternar la producción de azúcar y la de etanol, además de obtenerse derivados como electricidad (con el excedente de bagazo) y bioplásticos. La caña de azúcar representa alrededor de 86% de los cultivos de azúcar en el mundo y los países que lideran la producción son Brasil, India, China y Tailandia (Sánches et al., 2018).

(FAOSTAT, n.d.) mostro en el año 2017, la producción mundial de caña de azúcar alcanzó 1.841.528.386,00 de toneladas; en el puesto número 1, se encuentra Brasil que colocó en el mercado mundial cerca de 759 mil millones de toneladas, lo que representó el 41,2% de la producción mundial, es el rey en producción de caña de azúcar.

Tabla 1.

Producción Mundial de Caña de Azúcar

Nro.	PAISES	PRODUCCION CAÑA DE AZUCAR (TONELADAS)
1	Brasil	757116855
2	India	370500000
3	China	108651796
4	China, Continental	108121000
5	Pakistán	81009261
6	Tailandia	74968070
7	México	53952698
8	EE. UU.	32749379
9	Australia	30283457
10	Indonesia	28913829
11	Guatemala	28350253
12	Colombia	24650062
13	Filipinas	24398941
14	Sudáfrica	18220000
15	Argentina	18045886
16	Egipto	14913516
17	Cuba	13894931
18	Myanmar	11886485
19	Vietnam	11534539
20	Ecuador	11016167

Fuente: (FAOSTAT, n.d.). Elaboración propia

En el 2020 según (FAOSTAT, n.d.) (Gráfico 1), el puesto número 1 lo ocupa Brasil (Tabla 1) el cual alcanzo 757.116.855,00, sigue siendo el primer país mundialmente con más alta producción de caña de azúcar; y el Ecuador en el 2020 está en el puesto 20 de producción de caña azúcar a nivel mundial.

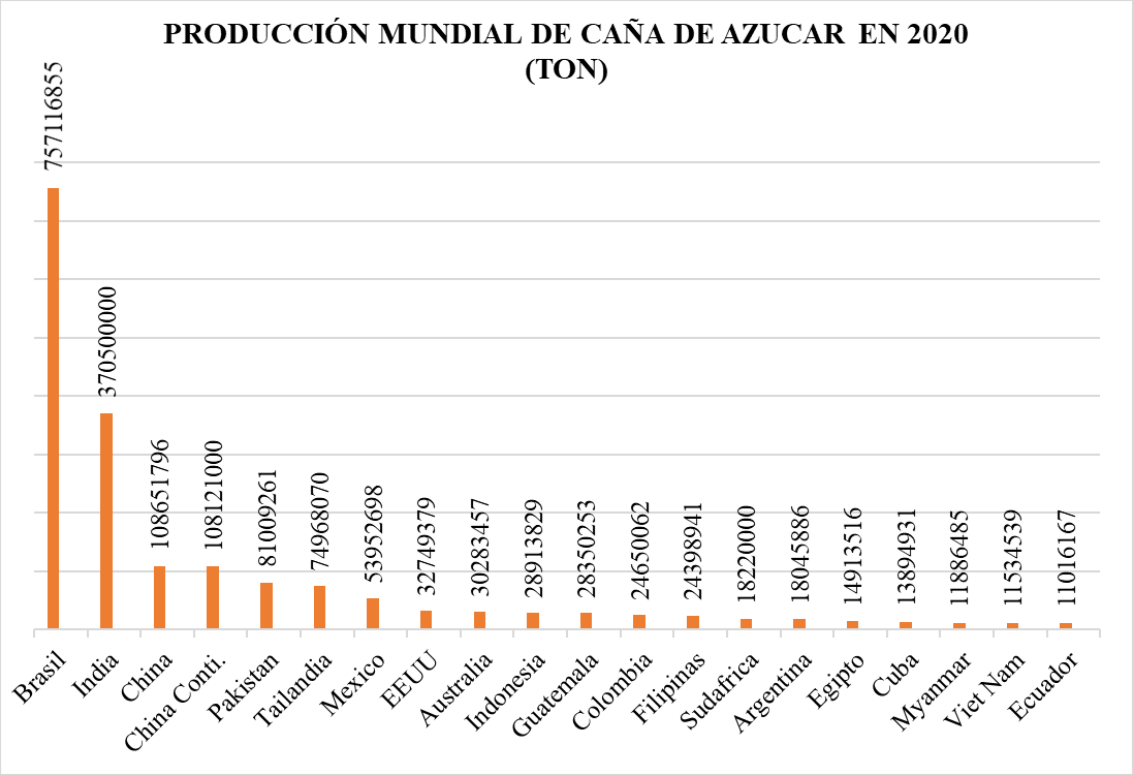


Gráfico 1. Cantidad de caña de azúcar en el mundo año 2020. (FAOSTAT, n.d.). *Elaboración propia.*

2.2. Usos de la caña de azúcar

La caña puede tener diversos usos, el principal es para la creación de la azúcar refinada, aunque también existen diversos usos gracias a todas las propiedades de la caña de azúcar. Los usos de la caña son los siguientes:

- Azúcar o jugo
- Bebidas alcohólicas

- Uso medicinal
- Otros usos

Tras el proceso de producción de la caña de azúcar, por lo general quedan algunas sobras o residuos los cuales tienen diversos nutrientes que pueden ser utilizados para la creación de abonos que, posteriormente serán usados en las tierras que serán cultivadas. Además de eso, también pueden ser usados para alimentar a algunos animales que puedan consumir este tipo de desechos (Plantasmania, 2010).

Otro derivado en la producción de la caña de azúcar es el piloncillo más conocido como la panela que se obtiene de la concentración y evaporación del jugo de caña.

La melaza la cual se obtiene de la caña de azúcar es otro de los productos que se puede obtener segregando una pequeña parte de la producción de esta.

La caña de azúcar, además de proporcionar sacarosa, tiene otros aprovechamientos. Tiene aproximadamente 40kg/t de melaza (materia prima para la fabricación del ron) y se pueden obtener 150kg/t de bagazo. Se puede utilizar en la elaboración de compost agrícola, vinaza, ceras, fibra absorbente, etc. (Valencia, 2009).

Los productos y subproductos que se pueden extraer de la caña de azúcar son diversos es por todos estos beneficios que a la planta se la usa en su totalidad en cada proceso suministrando así a todos las diferentes industrias a nivel mundial.

2.3. Producción de la caña de azúcar en el Ecuador

La caña de azúcar es un cultivo de alta importancia en Ecuador, del cual se extrae el azúcar que es un producto que forma parte de la canasta básica de los ecuatorianos y

es ingrediente fundamental de muchos alimentos elaborados y semielaborados de consumo masivo. Adicionalmente, puede producirse alcohol como carburante y proporciona el bagazo para cogeneración. Es una fuente importante de mano de obra en forma directa o indirecta a través de los ingenios azucareros, los cultivadores de caña y las industrias o pequeñas empresas que basan su producción en el azúcar y coproductos, en todas las regiones del Ecuador (Castillo & Silva, 2004).

García Vélez, (2019) señala, la caña de azúcar es un cultivo de alta importancia en nuestro país, del cual se obtiene un producto que es vital y forma parte del día a día del ser humano como lo es: el azúcar y es fundamental de muchos alimentos de consumo intensivo. Además, es considerada como uno de los principales productos de producción en América Latina y por consiguiente en el Ecuador también. Según datos del Banco Central del Ecuador y la CFN informan que: la producción de caña de azúcar contribuye el 1,4% del PIB nacional y generan aproximadamente 100.000 empleos.

(FAOSTAT, n.d.) El consumo mundial de azúcar proyecta un crecimiento del 1,6% anual para llegar a 203 millones de toneladas en 2028, esta cifra será resultado de la leve desaceleración del crecimiento demográfico, el lento crecimiento económico mundial y la creciente preocupación por los posibles efectos del consumo excesivo de azúcar. El consumo promedio per cápita aumentará de 22,7 kg a 24,2 kg. Se prevé que el incremento del consumo mundial provendrá en su mayoría de los países en vías de desarrollo, especialmente de las regiones de Asia y África, con una mayor demanda de productos procesados, productos de repostería y bebidas con un rico contenido de

azúcar. Por el contrario, en los países de América Latina, donde el consumo ya es alto, se espera un escaso crecimiento.

Las principales industrias azucareras en el Ecuador que cubren el 90% de producción según la CFN son: San Carlos, Valdez, La Troncal, Isabel María, IANCEM y Monterrey. Las dos últimas mantienen su producción durante todo el año por estar ubicadas en la Sierra mientras que las demás solo durante épocas del año debido a las sequias de la Costa. El área de sembrado se encuentra distribuido por provincias de la siguiente manera: el 72.4% en el Guayas, 19.60% en el Cañar, el 4.20% en el Carchi e Imbabura, el 2.4% en Los Ríos, y el 1.40% en Loja (García Vélez, 2019).

De acuerdo con la Federación Nacional de Azucareros - FENAZUCAR, existen más de 110.000 hectáreas de caña de azúcar en Ecuador, de las cuales entre 80.000 y 85.000 hectáreas se destinan a la producción de azúcar y, lo restante se utiliza para la producción de etanol y otros derivados como la panela. Entre los principales ingenios azucareros del país están San Carlos (Naranjito), Coazucar (ex Ingenio La Troncal), Monterrey (Loja) y Del Norte (Imbabura) (Sánches et al., 2018).

Lo ingenios azucareros en el Ecuador se encuentran en la Regios de la Costa y la Sierra, a continuación, en la siguiente tabla se detalla la provincia y su extensión en ha (hectáreas):

Tabla 2.

Ingenios Azucareros del Ecuador

PROVINCIA	**CANTON**	**INGENIO AZUCARERO**	EXTENSION **(HA)**
Guayas	Naranjito	San Carlos	25000
	Marcelino Maridueña		
	El Triunfo		
	Milagro	Valdez	23780
	La Troncal	Coazucar	23262
	El Triunfo	Miguel Ángel	-
	Playas	San Juan	-
Los Ríos	Babahoyo	Isabel María	1500
Imbabura	Ibarra	Del Norte	46000
Loja	Catamayo	Monterrey	1653

Fuente: (Sánches et al., 2018). *Adaptación propia.*

En el año 2020 existieron 54 empresas que se dedicaron a las actividades relacionadas al cultivo de caña de azúcar, generando 654 empleos, siendo el 46% correspondiente a empresas medianas; mientras que, para las actividades relacionadas a la manufactura existieron 10 empresas que generaron 5,487 empleos. La actividad de venta al por

mayor de azúcar fue realizada por 42 empresas, generadoras de 470 plazas de empleo (Corporación Financiera Nacional, 2021).

La producción de caña de azúcar en el Ecuador en el 2020 fue de 11.016.167 aumento el 19% referente al año 2019; y en extensión de cosecha fue 139.406 hectáreas

La provincia del Guayas es la que más producción tiene comparándolo con las otras provincias en el 2020 alcanzo el 75% de la producción nacional, siguiendo la provincia del Cañar con el 19%.

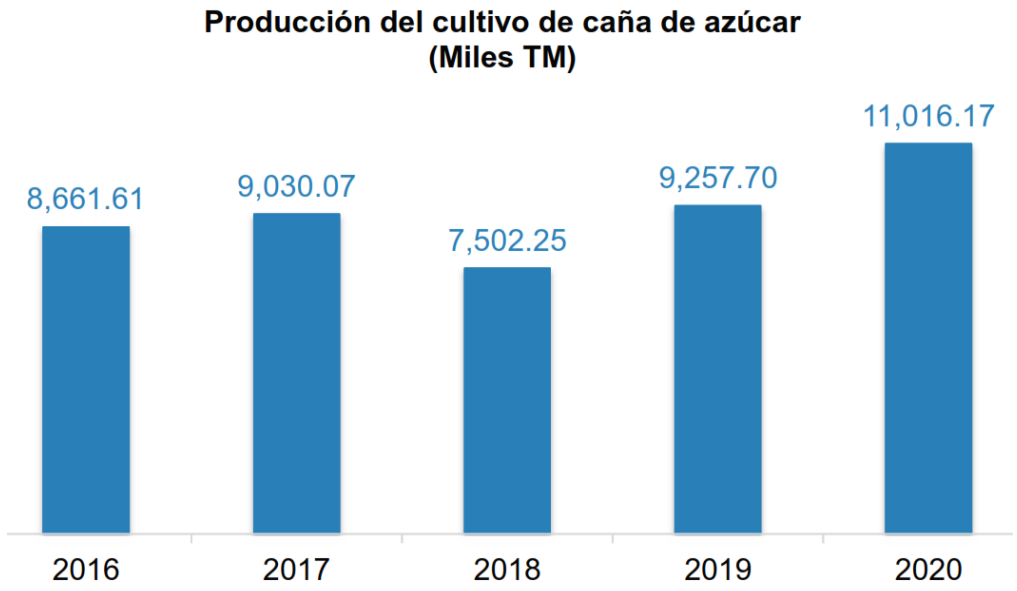
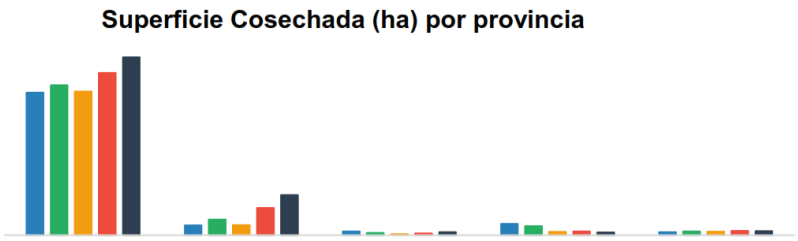


Figura 1. Producción de cultivo caña de azúcar. (INEC, 2021)

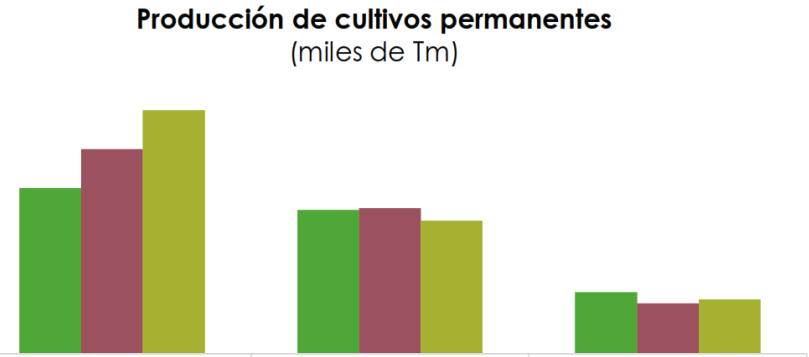


	Guayas	Cañar	Los Ríos	Loja	Resto de Provincias
2016	87,255	6,039	2,384	7,052	1,930
2017	91,610	9,667	1,360	5,632	2,334
2018	87,756	6,159	626	2,092	2,223
2019	99,166	16,669	1,060	2,289	2,629
2020	108,751	24,588	1,914	1,700	2,453

Figura 2. Superficie cosechada por provincia en hectáreas. (INEC, 2021)

"En el 2020, la superficie plantada de cultivos permanentes fue de 1'504.694 hectáreas; la caña de azúcar para azúcar, banano y palma africana son los cultivos de mayor producción a nivel nacional" (INEC, 2021).

Los cultivos permanentes en el Ecuador son Caña de Azúcar, Banano y palma africana, en la figura 3 se puede ver la producción en toneladas en los años 2018, 2019 y 2020 (Figura 3).



	Caña de azúcar	Banano	Palma Africana
2018	7.502	6.506	2.786
2019	9.258	6.583	2.276
2020	11.016	6.023	2.446

Figura 3. Producción de cultivos permanentes. (INEC, 2021)

En la figura siguiente se detallan las proporciones de los productos cultivados en el Ecuador, se observar que el cacao ocupa la mayor proporción de superficie plantada a nivel nacional.

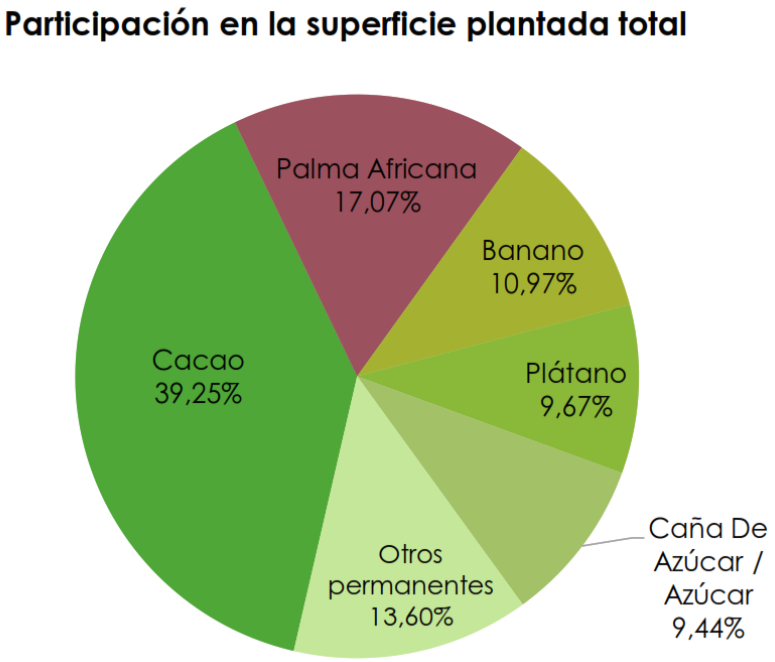


Figura 4.Participación en la superficie planta total.(INEC, 2021)

En Ecuador, el uso que se le da al bagazo es muy limitado por falta de tecnología e investigación, empleándose como complemento alimenticio al igual que la urea, combustible para calderos en extractores de aceite de palma africana (Esmeraldas), paneleras y trapiches (Pastaza) (Pozo, 2011).

2.4. Bagazo de la caña de azúcar

El bagazo de la caña normalmente es considerado como un subproducto de la molienda y extracción de azúcar siendo un material lignocelulósico que representa el 25% de la caña de azúcar procesada, sin embargo, tiene una gran importancia en varias industrias

ya que es fuente de energía “limpia” y es relativamente económico pues no se paga un precio específico por éste y es uno de los mayores residuos agrícolas en el mundo (Javier et al., n.d.).

Almazán de Olmo et al., (2013) nos señala que el bagazo de caña de azúcar es el residuo de fibras de celulosa que se acumula continuamente a la salida de la última planta de caña de azúcar, obtenido del agua de caña de azúcar en el ingenio, y es una fibra procesada producida por trituración de caña. Esto simboliza el 28% del peso de la caña que se introduce para el procesamiento, lo cual consiste en más o menos 45% de fibra, sólidos solubles un 2-3% (principalmente ceras y sacarosa), sólidos no solubles (suelo, piedra y materia extraña consecuencia del procesamiento, recolección y corte) entre un 49-51% de agua.

El bagazo de la caña de azúcar está formado de dos partes fundamentales:

- La fibra: Fibras relativamente largas, derivadas principalmente de la corteza y otros haces de fibra del interior del tallo.
- El meollo: Se deriva del parénquima, parte de la planta donde se almacena el jugo que contiene el azúcar.

La longitud media de las fibras del bagazo es de 1 a 4 milímetros y su ancho varía entre 0.01 y 0.04 milímetros.

Este posee aproximadamente la siguiente composición:

- Humedad (50%)
- Sólidos solubles (5%)
- Sólidos insolubles o fibra cruda (45%)

El bagazo de caña de azúcar es producido en proporciones notables y de constante obtención debido a la abundante cantidad de cultivos de caña por las industrias es por esa razón que se ha buscado la manera para poder reutilizar este residuo.

Con modificaciones y procesos de fabricación apropiados, el bagazo de caña aporta mejoras en las propiedades mecánicas: resistencia a la tensión, a la flexión, dureza y resistencia al impacto para materiales compuestos. (Sergio Miguel Guerrero López, 2020)

Los varios usos que se le da al bagazo de la caña de azúcar son:

- Películas e hidrogeles: son resistentes que soportan alta acidez. Estos pueden usarse para embalajes, recubrimientos de alimentos o aplicaciones biomédicas, como parches para terapia transdérmica o recubrimientos para la liberación controlada de drogas.

- Producción de tableros aglomerados.

- Papel materia prima: El bagazo se ha vuelto materia prima para la fabricación de papel, debido a que es un alto contenedor de fibras, lo que le permite reemplazar a la madera en este proceso productivo. En la fabricación de papel, como el Fluting, se emplea 80% de bagazo de caña de azúcar, por lo que como resultado de obtiene un papel biodegradable. (Trupal, 2020)

- Cartón: cajas de cartón, papel para corrugar o papel onda

- Productos químicos como el furfural o el xylitol.

- Combustible.

- También se utiliza para la fabricación de muebles y como aislante del sonido.
- El bagazo de la caña de azúcar se considera biomasa, la cual, a través de la combustión, se puede convertir en energía térmica y eléctrica.
- Hormigones: se reemplaza parcialmente el cemento por fibras secas del bagazo.

El bagazo de caña de azúcar se puede tratar y modificar con químicos, y al aplicar procesos de manufactura apropiados, es capaz de mejorar las propiedades mecánicas de los materiales, como: resistencia a la tensión y compresión, módulo de flexión, dureza y resistencia a los impactos. Por estas razones, existen perspectivas de aplicación de residuos de bagazo de caña de azúcar hacia el futuro en una gran variedad de productos, entre los cuales, se encuentran varios materiales de construcción (Loh et al., 2013):

- Tuberías
- Bloques de hormigón
- Morteros
- Almohadillas aislantes
- Recubrimientos aislantes pata techos y paredes
- Paneles de aglomerado
- Recubrimiento cables eléctricos

Con el propósito de eliminar el bagazo, éste era quemado sin tomar en cuenta su posible aprovechamiento. Sin embargo, las refinerías, el lugar donde ocurre el procesamiento de la caña y es generado el bagazo, están construidas normalmente en

lugares donde no hay energía comercial disponible y se ha reportado ventajas económicas y medioambientales de la utilización del bagazo como fuente alternativa para la obtención de electricidad frente a los combustibles tradicionales (Pippo et al., 2009).

2.4.1. Ceniza del bagazo de la caña de azúcar (CBCA)

Conocida abreviadamente como CBCA, es el producto de la quema del bagazo de caña en las calderas de cogeneración. Los suelos que se hayan recogido durante la cosecha, y el clima, son factores que tienen un efecto significativo sobre la producción y el rendimiento de la caña, de ellos dependerá la cantidad de ceniza en el bagazo (Aracelis et al., 2009).

La CBCA constituye un problema medioambiental a medida que forma grandes acumulaciones en las áreas donde es dispuesta. En estado natural está conformada por partículas alargadas y tiene alta porosidad, bajo condiciones controladas muestra presencia de sílice amorfa, la cual tiene propiedades puzolánicas (Sergio Miguel Guerrero López, 2020).

Es considerado un subproducto industrial, que se genera del proceso de la elaboración de azúcar y sus derivados. Cuando se incinera de manera conveniente se obtiene un residuo mineral que es rico en sílice y alúmina, cuyas propiedades puzolánicas dependen de la temperatura de combustión, que debe fluctuar entre 400 º C – 800 º C. A las cenizas producidas en estas condiciones se les considera de buena calidad. La actividad puzolánica de un material es igual a su resistencia, combinada con su durabilidad (Jara & Palacios, 2015).



Figura 5. Etapas de la ceniza del bagazo de la caña de azúcar.

PROCESO INDUSTRIAL DE LA OBTENCIÓN DE LA CENIZA DE BAGAZO MEDIANTE CAÑA DE AZÚCAR (CBCA)

El proceso de obtención de la CBCA empieza con la llegada de la caña de azúcar al ingenio azucarero donde se extrae el jugo, éste se clarifica y luego se cristaliza para separar el azúcar. La extracción se hace generalmente en un molino que pasa la caña entre tres o cuatro masas de acero, que exprimen los tallos y sacan todo el jugo. El residuo sólido fibroso se llama bagazo y es usado para hacer papel y para quemar en las calderas, como combustible. Estas calderas alcanzan temperaturas de 800ºC a 1000ºC. De las calderas se obtiene la ceniza de bagazo de caña de azúcar (Jara & Palacios, 2015).

La CBCA es un subproducto de los desechos de la fabricación del azúcar. Se utiliza como combustible que sirve para calentar las calderas para obtener el azúcar. La utilización de las cenizas de bagazo de caña de azúcar en diversos campos, como la agricultura, y ahora, en la construcción, será de gran aprovechamiento. Considerando su propiedad como material cementante para utilizarlo como cemento puzolánico.

Además, hay que conocer que la fibra de la caña de azúcar representa entre un 40-50% de su volumen de toda la planta (Navarrete & Rubio, 2018).

USOS

CBCA es un producto el cual está en grandes cantidades como desecho por esta razón las industrias han buscado la manera de ayudar a un desarrollo sostenible debido al impacto ambiental, es decir se ha buscado una manera de reutilizar el CBCA en la industria de la construcción, agricultura entre otras; algunos países ya están poniendo en práctica el uso de este desecho.

Según Vidal et al., (2014) , cada tonelada de cemento Portland ordinario (OPC) que se produce libera en promedio una cantidad similar de CO2 a la atmósfera, o lo que representa aproximadamente el 6% de todas las emisiones de carbono hechas por el hombre. Debido a esto, el uso de alternativas a la producción del cemento toma importancia pues implicaría un menor impacto ambiental por la menor emisión de CO2 pueden traer efectos positivos en las propiedades físicas, químicas y mecánicas de los materiales cementicios.



Figura 6. Cenizas quemadas a varias temperaturas. (Navarrete & Rubio, 2018).

Actualmente, existe la necesidad de crear nuevos materiales que sean totalmente ecológicos, económicos y saludables, para la construcción. Ante esta premisa, la CBCA se presenta como un material con características puzolánicos que puede modificar las propiedades del cemento. Que pueden ser benéficas con propiedades físicas, como: fluidez, densidad, capilaridad. Y mecánicas, como: prueba de resistencia a la compresión, etc. (Hernández, 2009).

Con el paso de los años el hombre ha tenido la necesidad de generar arquitectura, a través de la generación de espacios, esto ha ido evolucionando en torno a las circunstancias del medio donde se desarrolla, implementando cada vez más la utilización de nuevos materiales de construcción, que se inclinan a la reutilización de desechos, para disminuir la contaminación (Navarrete & Rubio, 2018).

La utilización de las cenizas de bagazo de caña de azúcar (CBCA) en el rubro de la construcción está cobrando cada vez más fuerza, ya que promete ser un subproducto industrial capaz de reemplazar parcialmente al cemento y de esta manera contribuir en la disminución de gases de efecto invernadero (CO2) que se generan en la producción industrial del cemento, además de los beneficios tanto económicos como medioambientales (Farfán & Hary, 2018).

Según la DICYT (*Agencia Iberoamericana para la Difusión de la Ciencia y la Tecnología)*, la CBCA presenta en su composición química el óxido de silicio capaz de reaccionar con otros compuestos y hacer que mejoren las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto, además refiere que es útil para la estabilización de bloques de suelo compactados, ya que aumenta sus propiedades de resistencia y durabilidad.

La CBCA (bagazo de la caña de azúcar) se produce en calderas a temperatura aproximadas entre 700°C y 900°C.

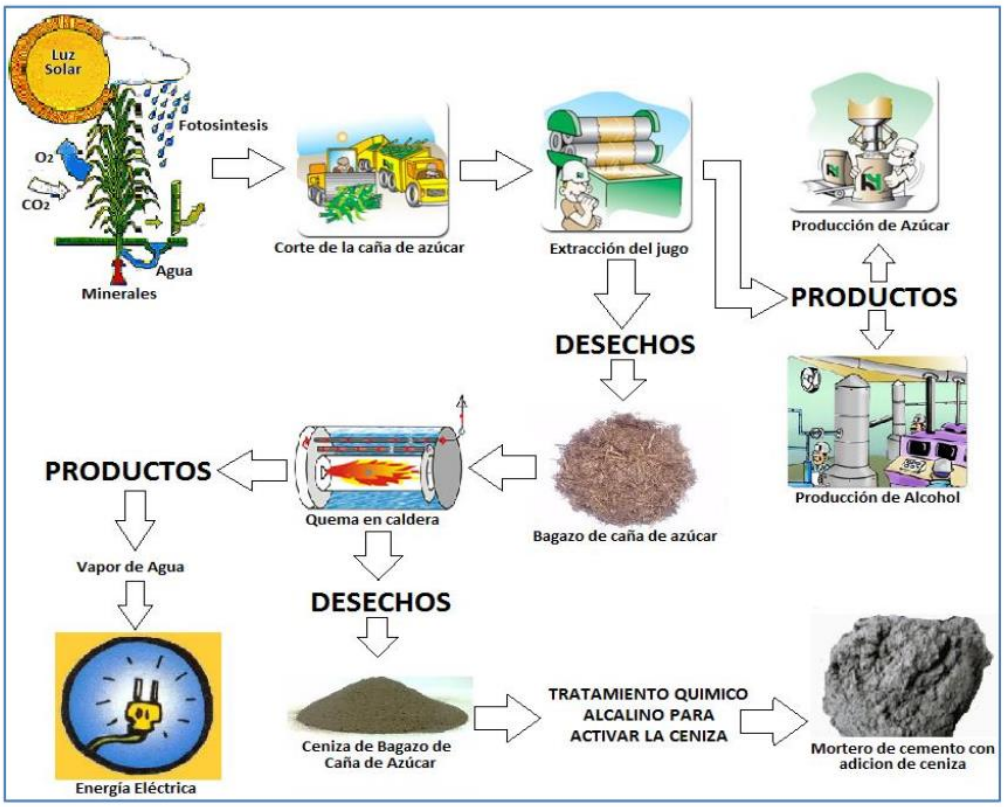


Figura 7. Proceso Productivo de la ceniza en los Ingenios Azucareros.(Solórzano-Sánchez, 2014).

2.5. Melaza

No se puede separar la historia de la melaza de la historia del azúcar del modo que se separa en el proceso de producción, , los primeros en llevar al continente americano la producción a gran escala de azúcar fueron los portugueses en consecuencia para 1540 existían más de 2500 ingenios a lo largo de toda la costa de Brasil (Benítez Rojo, 1996), en el siglo VIII se estableció en el Ecuador uno de los más grandes ingenios azucareros del país en el cual ya se produce melaza a escala industrial, con la llegada

del siglo XX y XXI la tecnología avanza considerablemente y se desarrollan nuevos ingenios azucareros por distintas empresas a nivel nacional (Grandes Emprendedores, 2012).

En el año de 1975 el INEN se ve en la obligación de crear una normativa exclusiva para la melaza en la cual establece sus parámetros, propiedades y estándares mínimos para mantener la calidad en su producción y estado fina (INEN, 1977b).

La melaza en un inicio se desarrolló como un subproducto obtenido en el proceso de elaboración del azúcar, se puede definir la melaza como un líquido de color oscuro que posee una viscosidad y densidad alta, se emplea como suplemento alimenticio para consumo humano como también para animales con determinadas diferencias en su composición química (IESSON, 2011).

Según la norma (INEN, 1977b) se define melaza como el subproducto que se obtiene en el proceso de la elaboración del azúcar de caña. Cuya relación entre la sacarosa e impurezas es tal, que ya no debe emplearse en el proceso de cristalización, se establece también que esta tendrá que obtenerse del jugo fresco de caña y estará exenta de materias extrañas o insolubles sin exceso de sales minerales solubles. A continuación, se detalla el proceso necesario para la obtención de la melaza

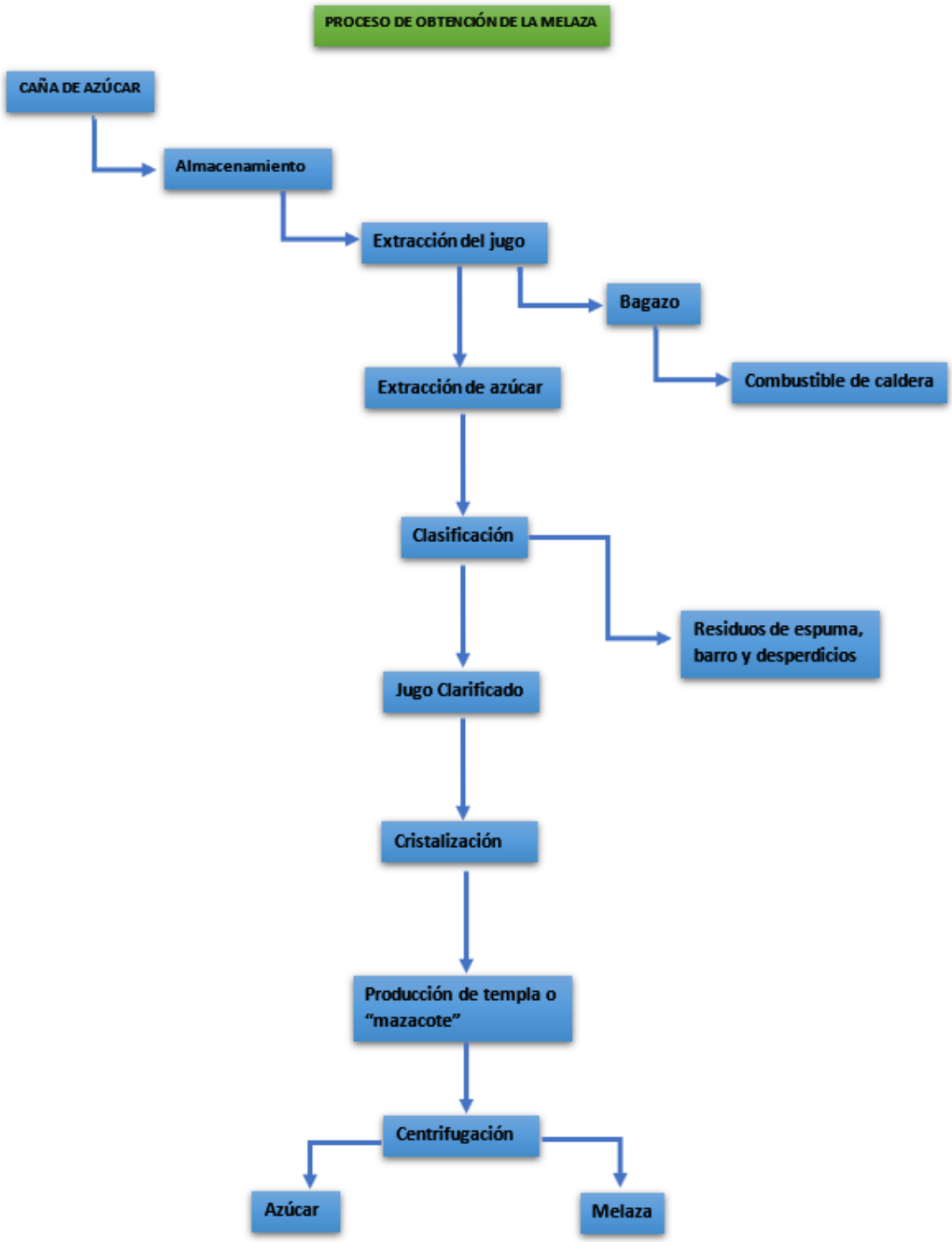


Figura 8. Proceso de obtención de la Melaza. (IESSON, 2011). *Elaboración propia.*

2.5.1. Composición

Los factores como suelo, clima, período de cultivo, sistema de ebullición del proceso , como también la variedad de caña de azúcar son determinantes para la determinación de la composición de la melaza sin embargo tiene un aproximado de solidos disueltos del 68 % – 75 % y un PH entre 5 a 6 (Barrera & Pacheco, 2011); la composición de la melaza es variable , contiene una mayor proporción de los azucares de jugo de caña , en el momento que el proceso de cocción se desarrolla se producen cambios cuantitativos y cualitativos, los azucares en la miel difieren del jugo.

Los cambios generados por álcalis a temperaturas elevadas sobre azucares reductores, especialmente la levulosa, constituyen la fuente principal de los nuevos compuestos como melaninas que se encuentran en la miel (Barrera & Pacheco, 2011). En la tabla 3 se puede apreciar los componentes de la melaza.

Tabla 3.

Componentes de la Melaza.

COMPONENTES	CONSTITUYENTES	CONTENIDO
Componentes mayores	Materia seca	78%
	Proteínas	3%
	Sacarosa	60-63 % p/p
	Azúcares Reductores	3 a 5 % p/p
	Sustancias disueltas (diferentes azúcares)	4 - 8% p/p
	Agua	16%
	Grasa	0,40%
	Cenizas	9%
Contenido de minerales	Calcio	0,74%
	Magnesio	0,35%
	Fósforo	0,08%
	Potasio	3,67%
	Glicina	0,10%

Contenido de aminoácidos	Leucina	0,01%
	Lisina	0,01%
	Treonina	0,06%
	Valina	0,02%
Contenido de Vitaminas	Colina	600 ppm
	Niacina	48,86 ppm
	Ácido Pantoténico	42,90 ppm
	Piridoxina	44 ppm
	Riboflavina	4,40 ppm
	Tiamina	0,88 ppm

Según la (INEN, 1977b) es indispensable que se cumpla con los parámetros expuestos relacionados a su composición para que el producto pueda ser comercializado en el Ecuador.

Tabla 4.

Composición de la melaza necesaria para ser comercializada en el Ecuador

REQUISITO	UNIDAD	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉTODOS DE ENSAYO
Sólidos solubles	°Bx	85	-	INEN 273
Azúcar reductor como azúcar invertido	%	46	59	INEN 266
Cenizas sulfatadas	%	-	12	INEN 272
Humedad		-	26.5	INEN 265

Fuente: (INEN, 1977b). Elaboración propia.

La composición química de la melaza varía según lo expresado anteriormente sin embargo mantiene muchas cualidades uniformes importantes que pueden ser tomadas en cuenta al momento de incluirla como suplemento alimenticio en el sector pecuario, para el consumo humano y para la investigación en general.

3. Capítulo 3: Ladrillos

En este capítulo se trata el ladrillo, su historia, características, tipos, usos, y procedimientos para su elaboración y producción artesanal en el Ecuador. A continuación, se presentan definiciones fundamentales para el entendimiento adecuado y desarrollo de la investigación.

Mampuesto: Piedra sin tallar o toscamente tallada, que se usa en las construcciones de mampostería (BuscaPalabra, n.d.).

Mampostería: se llama mampostería al sistema tradicional que consiste en la construcción de muros y parámetros, para diversos fines, mediante la colocación manual de elementos que puedan ser, por ejemplo: ladrillos, bloques de cementos, piedras, etc. (Pozo, 2011).

Ladrillo: Se conoce como ladrillo a un elemento de construcción, generalmente hecho con masa de barro cocida, que tiene forma de paralelepípedo rectangular y que permite levantar muros y otras estructuras. Gracias a sus dimensiones, un albañil puede colocar un ladrillo utilizando sólo una mano, lo que facilita las tareas (Definicion.De, n.d.).

3.1. Antecedentes

Una de las primeras referencias del uso de ladrillos a lo largo de la historia se encuentra en 1952 en Jericó, Palestina (Medio Oriente), el cual data del 8300 a. C, con dimensiones de 20 x 10 x 10 centímetros (Campbell & Pryce, 2004).

Se conoce entonces que se elaboraron adobes secados al sol hace más de 9000 años. En Mesopotamia aparecen los primeros ladrillos cocidos que se usan como elementos

decorativos y en recubrimientos de muros de adobe. Los Sumerios, Babilonios y Persas construyeron zigurats y palacios de adobe con ladrillos cocidos con esmaltes. El imperio chino construye parte de su gran muralla con ladrillos y el imperio Romano también los usan en termas anfiteatros y acueductos. En la edad media también se utilizó el ladrillo en el norte de Italia, norte de Europa y países bajos, y se construyen edificios domésticos, palacios y castillos. Durante el renacimiento, la arquitectura georgiana británica los emplea masivamente en Inglaterra. Los colonos lo llevan a América, aunque ya existían civilizaciones prehispánicas que utilizaban ladrillos de adobe revestidos de piedra (Ortega-Andrade & Ortega Andrade, 1990).

En España es característico el uso del ladrillo por la influencia musulmana en Castilla, Aragón y Andalucía. En la ciudad de Toledo, también tenemos ejemplos de termas romanas o edificios del Neoclásico dejados por cristianos, mezquitas construidas por musulmanes o sinagogas levantadas por judíos (López-Arce, 2011).

En el siglo XIX, en los continentes europeo y americano, toman mayor importancia las construcciones civiles con mampostería de ladrillo, porque resume en sí mismo todos los procesos de industrialización (Revolución Industrial en Europa), que se generaban en esa época. La utilización de este material poseía un significado indirecto de los avances tecnológicos, que de una manera u otra lograban generar un valor simbólico y de progreso. En este siglo XIX se generan grandes avances en la industria ladrillera, es decir el remplazo de los tradicionales hornos hormigueros (hornos de cocción formados por carbón y ladrillo seco recubierto de tierra), por hornos circulares y de túnel. Los avances en la industria darán paso al aumento de la producción y poseerán características físicas determinadas y controlables (Adell Argilés, 1992).

3.2. Características

Deben tener caras planas, aristas rectas y ángulos exteriores a escuadra. El ladrillo en su geometría consta de caras y aristas.

Las diferentes caras del ladrillo reciben los siguientes nombres:

- Tabla, la cara mayor
- Canto, la cara intermedia.
- Testa, la cara menor.

Las aristas de los ladrillos reciben los siguientes nombres:

- Soga, la arista mayor
- Tizón, la arista media
- Grueso, la arista menor

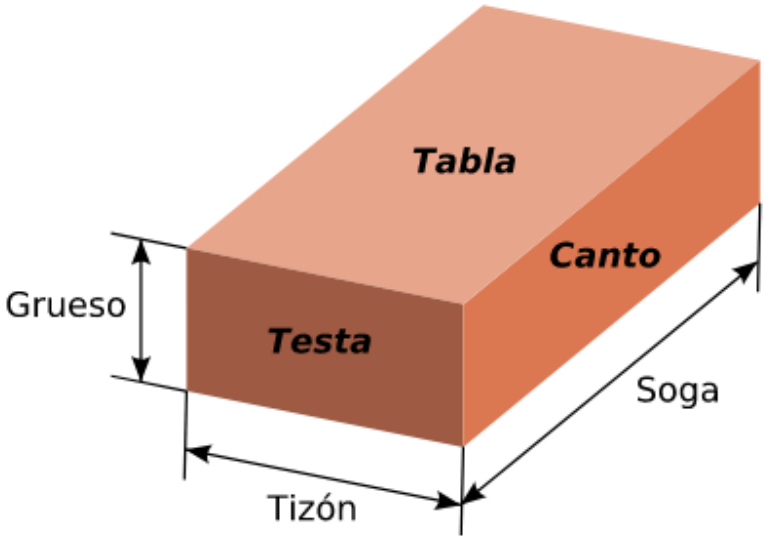


Figura 9. Partes de un ladrillo.(Cachago & Caguano, 2016).

Con el paso de los años, el trabajo con barro se ha desarrollado, producto de la inclusión de nuevas técnicas de elaboración, materiales y normas estéticas. De igual manera, con el uso del horno en sus distintas modalidades, la utilización de la arcilla paso a industrializarse, mejorando las cualidades del ladrillo (Rocas y Minerales, n.d.).

El ladrillo cocido representa uno de los materiales de construcción más duraderos y resistentes, a veces conocidos como piedra artificial. Los ladrillos secados al aire, también conocidos como ladrillos de adobe, tienen una historia más antigua que los ladrillos cocidos, y tienen un ingrediente adicional de un ligante mecánico como la paja (Arquitectura Pura, n.d.).

Los ladrillos deben contar con una geometría homogénea, compacta, luciente y exenta de caliches, no debe estar demasiado cocido ya que produciría una unidad de color violáceo o negruzco, con una estructura vitrificada y brillosa, con deformaciones y grietas. Un ladrillo demasiado cocido es muy duro pero la resistencia queda anulada por las fisuras. Tampoco debe estar poco cocido o blando, pues podría desmoronarse fácilmente y daría un sonido sordo. En resumen, las características físicas del ladrillo son que debe tener una buena cocción, un color uniforme, un sonido claro y seco al ser golpeado (Barranzuela Lescano, 2014).

El ladrillo también tiene propiedades mecánicas, las principales son la resistencia a la compresión, absorción de agua y aislante térmico; las propiedades estéticas son el color y la textura.

3.3. Tipos

Para la clasificación de los ladrillos se considera el criterio establecido por la norma ecuatoriana de la construcción (NTE INEN, 2014) la cual se construye en base a la realidad y el entorno ecuatoriano.

3.3.1. Ladrillo común (mambrón). Es el ladrillo moldeado a mano.

3.3.2. Ladrillo de máquina. Es el ladrillo moldeado mecánicamente y en producción continua.

3.3.3. Ladrillo reprensado. Es el ladrillo que se prensa entre el moldeo y la cochura.

3.3.4. Ladrillo macizo. Es el ladrillo fabricado a mano o a máquina sin perforaciones en su interior, o con perforaciones celulares que pueden llegar hasta el 20% de su volumen.

3.3.5. Ladrillo hueco. Es el ladrillo fabricado a máquina con perforaciones en su interior, que pasan del 20% de su volumen.

3.4. Uso

EL ladrillo es un material importante en la construcción, sus principales usos en el área de la construcción son:

- Construcción de muros de cualquier tamaño.
- Como bloques de construcción.
- Construcción de pisos.
- Construcción de arcos y cornisas.
- Para el revestimiento de hornos, hornos y chimeneas.
- Para usar como un agregado en concreto.
- Para uso en yeso de cal y concreto de cal.

- Para adoquines para senderos y ciclovías
- Para revestir líneas de alcantarillado.

3.5. Ladrillos artesanales y su elaboración

Un producto de origen artesanal se puede identificar principalmente por los métodos empleados para su elaboración , el procedimiento para el caso del ladrillo en el Ecuador es manual en la mayoría de los casos ,el amasado y moldeado se realizan cuando mucho con herramienta menor pasando por un proceso de secado al aire y cocido al horno a temperaturas cercanas a los 900 °C ,en el proceso de cocción existen diferencias temperatura dentro del Horno elaborado artesanalmente, en consecuencia , las características físicas del ladrillo son variables en función de la posición en la que se encontraron durante el proceso.

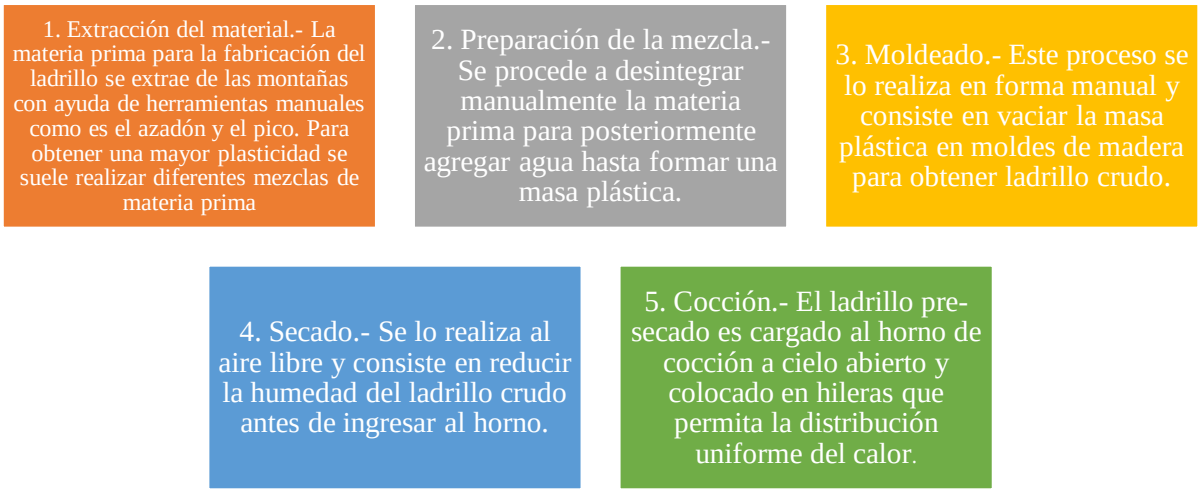


Figura 10. Elaboración de los ladrillos artesanales (Cachago & Caguano, 2016).

4. Capítulo 4: Caracterización de Materiales

Para el proceso de elaboración de un material es indispensable conocer las características de las partes que lo conforman, en este capítulo se aborda el origen, propiedades, y demás cualidades necesarias para conocer su comportamiento individual de cada parte y posteriormente en conjunto.

Los materiales por emplearse en la elaboración del mampuesto planteado fueron principalmente obtenidos en la Sierra centro del país, donde se encuentran los mayores depósitos de ceniza volcánica sedimentada del Ecuador. Los ingenios azucareros en el país dejan una gran cantidad de CBCA (ceniza del bagazo de la caña de azúcar) como residuo es por esta razón que se requiere emplear los mencionados materiales tanto por sus características físicas como por su fácil obtención y disponibilidad. El proyecto se desarrolla en el Laboratorio de materiales de construcción de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, sede Quito.

4.1. Suelo

Existen grandes depósitos de suelo competente para la elaboración de ladrillos en la mayoría de las elevaciones presentes en la Cordillera de los Andes y sus alrededores. El valle de Los Chillos está rodeado de montañas y volcanes, los cuales durante su existencia han aportado con grandes cantidades de ceniza, la cual con el paso de los años se ha sedimentado, en consecuencia, se ha producido un suelo con características cementantes especiales el cual ha sido empleado para la construcción con adobe y ladrillo.

El suelo que se utilizó para la investigación se obtuvo del barrio San Lorenzo ubicado en la parroquia Conocoto perteneciente al Distrito Metropolitano de Quito en la ubicación (0°18'60.0"S; 78°30'03.7"W).



Fotografía 1. Sitio de recolección del suelo.

El proceso para la obtención de la muestra se realizó de acuerdo con la norma INEN 686, primero se retiró la capa vegetal existente en el sitio, se identificó el tipo de suelo mediante el método manual visual para constatar que el mismo sea el indicado para la elaboración de la investigación.

Los suelos que contienen una fracción excesiva de limos pueden provocar que el mampuesto obtenido tenga una resistencia muy baja para soportar la manipulación a edades tempranas, en cuyo caso, se recomienda el reemplazo de una parte de dicha fracción por gravas o arenas. Por otra parte, los suelos con contenido orgánico y/o de sulfatos generalmente no son adecuados para la estabilización utilizando únicamente cemento o cal, requiriendo de manera adicional la utilización de aditivos acelerantes (Achilles et al., 2014).

Durante la excavación fue necesario el control permanente de la homogeneidad de la muestra ya que en ocasiones suelen encontrarse residuos de otros tipos de suelo o materiales ajenos a el estrato principal, la muestra fue almacenada en varios contenedores plásticos identificados adecuadamente con la información pertinente para posteriormente ser trasladados a el laboratorio de materiales de la PUCE donde se realizaron los ensayos requeridos del suelo natural.

4.1.1. Ensayos

Los ensayos fueron realizados de acuerdo con la Normativa ASTM vigente a la fecha de la elaboración de la investigación, se presentan a continuación los resultados obtenidos en cada uno de ellos.

CONTENIDO DE HUMEDAD

El contenido de agua (w), también conocido como contenido de agua natural o contenido de humedad natural, es la relación entre el peso del agua y el peso de los sólidos en una determinada masa de suelo. Esta relación generalmente se expresa como porcentaje. Cuando los huecos están completamente llenos de aire, el contenido de agua es igual a cero (suelo seco) (Geo Engineer, n.d.-d).

La Norma que se utilizó para el ensayo es ASTM D2216-19: Standard Test Methods for Labority Determination of Wáter (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass.

Tabla 5.

Datos de Contenido de Humedad

	Nro. Capsula	**Peso suelo húmedo +capsula (M2)**	**Peso capsula (M1)**	**Peso suelo seco+ capsula (M3)**
Muestra 1	687	51,68g	17,6g	45,63g
Muestra 2	I1	66,84g	18,5g	58,2g

Donde:

M1= peso de capsula

M2= peso de capsula + suelo húmedo

M3= peso de capsula + suelo seco

$$w\% = \frac{W_W}{W_s}(100)$$

Ecuación 1. Contenido de humedad.

$$w\% = \frac{M_2 - M_3}{M_3 - M_1}\ (100)$$

Tabla 6.

Resultados Contenido de humedad

W1%	21,58%
W2%	21,76%
PROMEDIO	21,67%

Para el contenido de humedad se realizaron dos muestras, la cantidad de agua encontrada en las muestras fue de 21,67%.

GRAVEDAD ESPECÍFICA

La gravedad específica (GS) de un suelo se refiere a la relación entre el peso unitario de las partículas sólidas y el peso unitario del agua. GS no debe confundirse con la densidad del suelo ya que es una unidad adimensional y expresa la relación de dos densidades particulares (Geo Engineer, n.d.-c).

Norma: ASTM D854-14: Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometerm.

En la fotografía mostrada a continuación se puede observar el proceso por el cual se extra el aire atrapado en la muestra de suelo.



Fotografía 2. Ensayo de Gravedad Especifica

$$Gs = \frac{M_S}{M_W} = \frac{densidad\ de\ suelo}{densidad\ del\ agua}$$

Ecuación 2. Gravedad Específica.

$$Gs = \frac{M_S}{(M_1 + M_S) - M_2}$$

Tabla 7.

Datos gravedad especifica

Matraz N	S2
Masa suelo natural (gr)	101,27
Masa matraz (gr)	149,97
Masa matraz + agua (gr) M1	648,3
Masa matraz + agua + suelo (gr) M2	709,19
Temperatura ºC	21,4
Capsula de Evaporación Nro.	5XX
Masa Capsula (gr)	346,17
Masa Capsula + suelo seco (gr)	443,74
Masa suelo seco	96,46

$$G_s = 2.69$$

LIMITES DE ATTERBERG

Los límites de Atterberg o también llamados límites de consistencia se basan en el concepto de que los suelos finos, presentes en la naturaleza, pueden encontrarse en diferentes estados, dependiendo de su propia naturaleza y la cantidad de agua que contengan (Thomas, 2003).

Dependiendo del contenido de agua de un suelo, el suelo puede estar en uno de cuatro estados: sólido, semisólido, plástico y líquido. Estos métodos aún se utilizan para determinar el límite líquido, el límite plástico y el límite de contracción de los suelos, que se describen en la norma ASTM D4318-17 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Indexo f Soils (Geo Engineer, n.d.-a).

LIMITE PLÁSTICO

El límite plástico (PL o wPL), también conocido como límite plástico inferior, es el contenido de agua en el que un suelo cambia del estado plástico al estado semisólido. Casagrande definió el límite plástico como el contenido de agua en el que un hilo de suelo se desmorona cuando se extiende con cuidado hasta un diámetro de 3 mm (1/8”). Si el hilo se desmorona con un diámetro inferior a 3 mm, el suelo está demasiado húmedo. Si el hilo se desmorona a un diámetro superior a 3 mm, el suelo está más seco que el límite plástico (Geo Engineer, n.d.-a)



Fotografía 3. Limite Plástico

Para la obtención del límite plástico es indispensable obtener como mínimo los datos que se muestran a continuación:

Tabla 8.

Datos Limite plástico

	Nro. Capsula	**W suelo húmedo +capsula (M2)**	**w capsula (M1)**	**w suelo seco+ capsula (M3)**
Muestra 1	L3	12,61	8,73	11,73
Muestra 2	716	10,56	6,31	9,56

$$PL = \frac{masa\ del\ suelo\ humedo}{masa\ del\ suelo\ seco}$$

Ecuación 3. Limite Plástico.

$$PL = \frac{M_2 - M_3}{M_3 - M_1}\ (100)$$

Tabla 9.

Resultados Limite plástico

PL	29,33%
PL	30,77%
PROMEDIO PL	30,05%

Para este ensayo se realizaron dos muestras obteniendo un resultado promedio del 30,05% de contenido de agua en el límite mencionado.

LIMITE LÍQUIDO

El límite líquido (LL o wLL), también conocido como límite plástico superior, es el contenido de agua en el que el suelo cambia del estado líquido al estado plástico. Es el contenido mínimo de humedad al que fluye un suelo al aplicar una fuerza cortante muy pequeña (Geo Engineer, n.d.-a).

El límite líquido, se estableció como la humedad que tiene un suelo amasado con agua y colocado en una cuchara normalizada, cuando un surco, realizado mediante un acanalador normalizado, que divide dicho suelo en dos mitades, se cierra a lo largo del fondo en una distancia de 13 mm, tras haber dejado caer 25 veces la mencionada cuchara desde una altura de 10 mm sobre una base también normalizada, con una cadencia de 2 golpes por segundo (Thomas, 2003).



Fotografía 4. Ensayo Limite Liquido.

La finalidad de la metodología de ensayo se enfoca en la unión del material analizado en una distancia de 13mm una vez efectuado el procedimiento establecido en la norma. En la fotografía mostrada a continuación se puede apreciar dicha longitud de unión la cual establece el límite líquido.



Fotografía 5. Copa Casagrande, ensayo limite líquido.

Para la obtención del límite líquido es indispensable obtener como mínimo los datos que se muestran a continuación:

Tabla 10.

Datos Limite plástico

	Nro. Capsula	**W suelo húmedo +capsula (M2)**	**w capsula (M1)**	**w suelo seco+ capsula (M3)**	**Nro. De golpes**
Muestra 1	E3	39,58	8,89	31,53	17
Muestra 2	78z	29,89	6,18	23,94	33
Muestra 3	38z	31,76	6,18	25,19	25

$$w\% = \frac{M_2 - M_3}{M_3 - M_1}\,(100)$$

Ecuación 4. Limite Liquido.

Para la obtención del límite plástico es indispensable obtener como mínimo los datos que se muestran a continuación:

Tabla 11.

Resultados Limite plástico

	Humedad	**Nro. Golpes**
w1%	35,56%	17
w2%	33,50%	33
w3%	34,56%	25

En la gráfica se representa mediante puntos el contenido de humedad con su respectivo número de golpes, de los cuales se obtiene una ecuación que representa el comportamiento de material y de esta se obtiene el límite líquido.

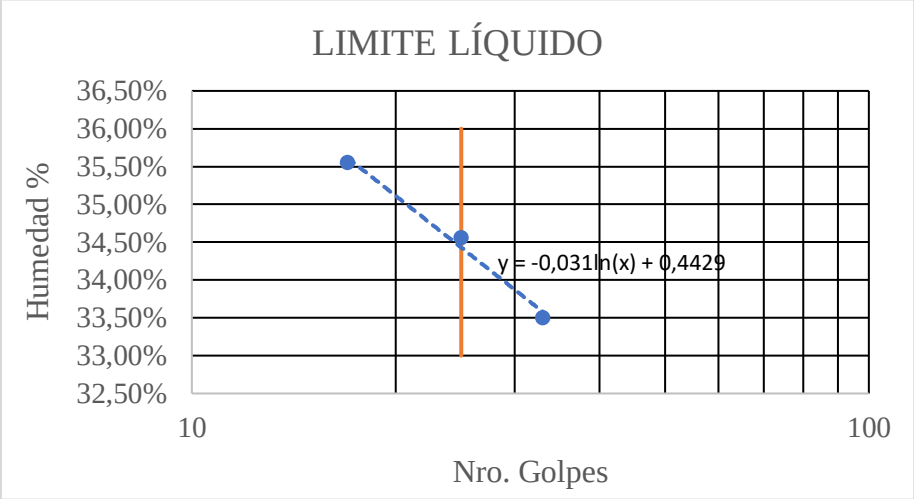


Gráfico 2. Limite Liquido.

ECUACIÓN: y = -0,031ln(x) + 0,4429

X=25

L.L	0,3431
L.L	34,31%

ÍNDICE DE PLASTICIDAD

El índice de plasticidad (IP) se obtienes mediante, límite plástico menos el límite líquido.

L.L	34,31%
L.P	30,05%

El índice de plasticidad se obtiene de la diferencia del límite plástico al límite líquido, este parámetro es indispensable para la adecuada clasificación del suelo.

$$IP = LP - LL$$

Ecuación 5. Índice de Plasticidad.

$$IP = 4{,}26\%$$

CLASIFICACIÓN DEL SUELO

La clasificación del suelo SUCS se realizó mediante la norma ASTM D2487-17: Standard Practise for Clasification of soils for Engineering Purpose, la cual se obtiene observando en la gráfica en base a los datos conseguidos en limites, necesitamos el límite líquido y el índice de plasticidad, se observa en la gráfica y se obtiene el tipo de suelo.

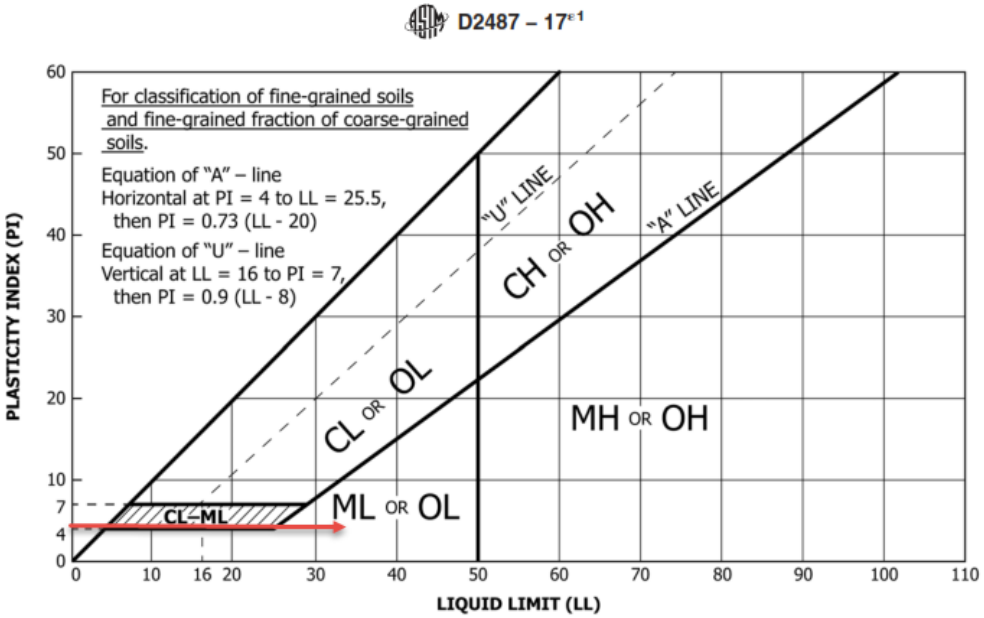


Gráfico 3. Clasificación SUCS (Norma ASTM D2487).

Según la gráfica de plasticidad el suelo que se está ensayando es un ML (limo-baja plasticidad)

GRANULOMETRÍA

El ensayo de granulometría es realiza para determinar el tamaño de partículas de suelo ya que se distribuye en los diferentes tamaños, se expresa en porcentaje cada tamaño en relación con el peso total.

El análisis se lleva a cabo a través de dos técnicas. El análisis de tamaño de grano de tamiz es capaz de determinar el tamaño de las partículas en un rango de 0,075 mm a 100 mm. Cualquier categorización de granos de más de 100 mm se realizará visualmente, mientras que las partículas de menos de 0,075 mm se pueden distribuir mediante el método del hidrómetro. (Geo Engineer, n.d.-b).

GRANULOMETRÍA POR TAMICES

El ensayo se realiza con la utilización de un juego de tamices con diferentes tamaños de malla. El tamiz separa las partículas más grandes de las más pequeñas, distribuyendo la muestra de suelo en cantidades, las cuales son retenidas por los diferentes tamices por lavado como se muestra en la fotografía 6. (Geo Engineer, n.d.-b).



Fotografía 6. Granulometría por tamices.

Según la norma ASTM D6913-17: Standard Test Methods for Particle-Size Distribution of Soils Using Sieve Analysis, caracteriza la fracción entre el tamiz de 3" (75mm) y N° 200 (75 µm) designada fracción gruesa.

Para el análisis granulométrico es preciso obtener como mínimo los datos que se muestran a continuación:

Tabla 12.

Análisis granulométrico por tamizado

Tamiz	Recipiente	Peso Recipiente (Pr)	Peso + suelo	Retiene (g)	Rn	% Aculado	% Pasa
10	PS28	17,89	18,72	0,83	0,49	0,49	99,50
40	.125	16,49	28,04	11,55	6,84	7,33	92,66
200	AA11	18,28	68,28	50	29,601	36,93	63,06

GRANULOMETRIA POR HIDROMETRO

El análisis hidrómetro se utiliza para tamaños de partículas más finos que 75 μm. Estas partículas pasan por el tamiz (No. 200) del Análisis de Tamiz.

La prueba se basa en el hecho de que cuando el suelo se vierte en el líquido, la densidad relativa de la mezcla suelo-agua aumentará. A medida que las partículas del suelo se hunden, la densidad disminuye hasta alcanzar la densidad inicial del líquido. Las partículas más pesadas (de mayor diámetro) se hundirán primero (Geo Engineer, n.d.-b).

En la tabla 13 se puede apreciar la granulometría general de suelo estudiado.

Tabla 13.

Análisis granulométrico

Granulometría General		
	mm	**% Pasa**
Arena	2,0000	99,50
	0,4200	92,66
	0,0750	63,06
	0,0736	31,26
	0,0585	28,77

Limo	0,0426	25,44
	0,0307	22,11
	0,0222	18,78
	0,0161	15,45
	0,0120	14,62
	0,0087	11,29
	0,0061	10,46
	0,0044	7,13
	0,0032	7,13
	0,0023	6,30
Arcilla	0,0013	4,63
	0,0010	4,63
	0,0008	4,63

Una vez que se realizó los dos ensayos se puede obtener la curva granulométrica completa del suelo utilizado para la investigación. (Grafico 4)

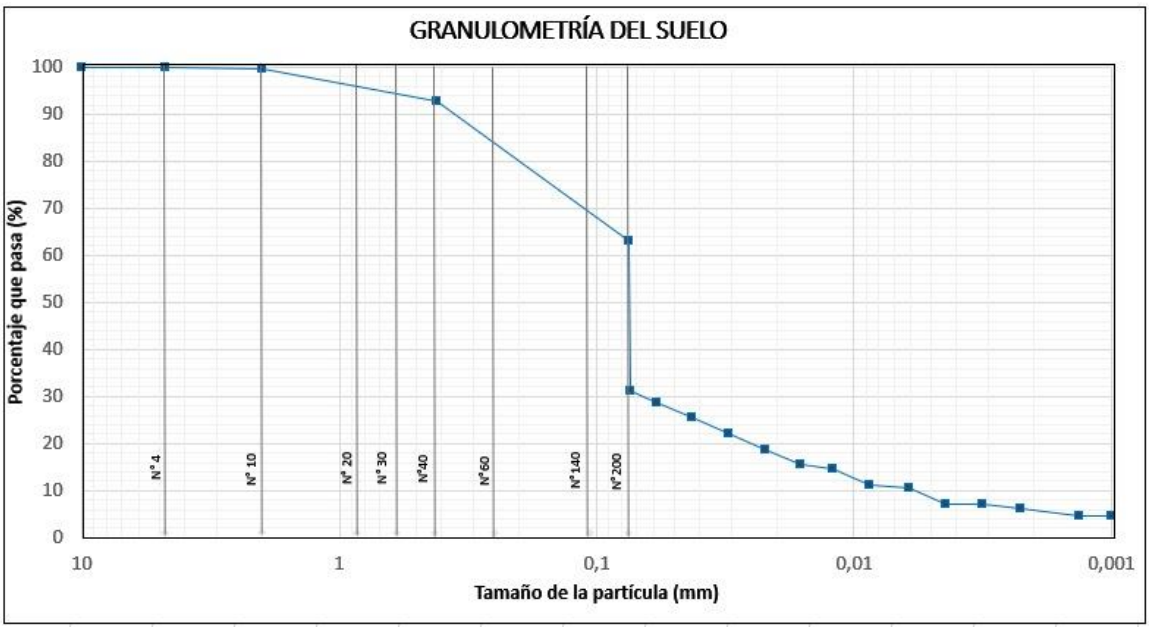


Gráfico 4. Curva granulométrica del suelo.

4.2. Ceniza del bagazo de la caña de azúcar (CBCA)

Las CBCA es un subproducto de los desechos de la fabricación del azúcar. Se utiliza como combustible para calentar las calderas de donde se obtiene el azúcar (CHÁVEZ, 2017)

Además, contiene un gran porcentaje de sílice, se podría utilizar como material cementante para utilizarlo como cemento puzolánico. Además, hay que conocer que la fibra de la caña de azúcar representa entre un 40 – 50 % de su volumen de toda la planta. Se estima que el contenido de Sílice de esta ceniza se encuentra entre el 60 y 70 % del total de sus componentes. A continuación, se muestra una referencia de la composición química de la ceniza de Bagazo de caña de azúcar. (CBCA) (CHÁVEZ, 2017).

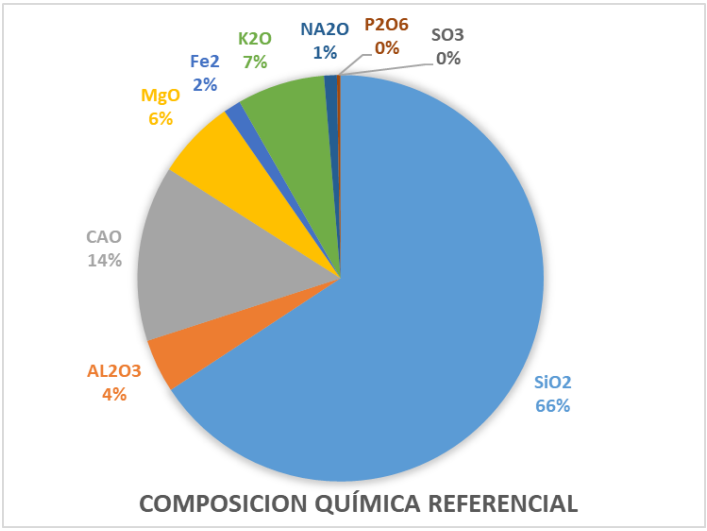


Figura 11. Composición Química referencial de la CBCA. (CHÁVEZ, 2017).

La ceniza del bagazo de caña de azúcar que se empleó para la presente investigación se obtuvo de la planta Ingenio Azucarero del Norte Compañía de Economía Mixta

(IANCEM), la cual está ubicada en parroquia de Ambuquí perteneciente al cantón Ibarra de la provincia de Imbabura, Panamericana Norte Km 25 vía Ibarra Tulcán.



Fotografía 7. Planta del Ingenio Azucarero del Norte.

Como se indicó anteriormente el proceso de producción de caña de azúcar consta de varios factores y procedimientos, uno de los más importantes es el transporte de la caña de azúcar hacia la planta de producción para lo cual es necesario contar con vehículos adecuados para este fin, en la fotografía 8 se puede apreciar los vehículos.



Fotografía 8. Camiones con la cosecha de la caña de azúcar en la planta del Ingenio Azucarero.

El Ingenio constituye la empresa Agroindustrial más importante de Imbabura y Carchi, con proveedores, y programas de cultivo de 4600 hectáreas de caña de azúcar. El bagazo producto de la extracción es utilizado para generación de vapor en las calderas, constituyéndose en el combustible importante de la central azucarera (Auditores independientes, 2019).

La CBCA es producto de la incineración del bagazo de caña de azúcar, la ceniza empleada se almacena a cielo abierto en las cercanías de la planta.



Fotografía 9. Almacenamiento de las cenizas del bagazo de la caña de azúcar.

4.3. Melaza

La melaza de caña, llamada también ‘miel negra’, es un jarabe espeso que se extrae de la caña de azúcar. La melaza que se utilizó en la investigación se adquirió del Ingenio azucarero del Norte, a continuación, se presenta su composición:

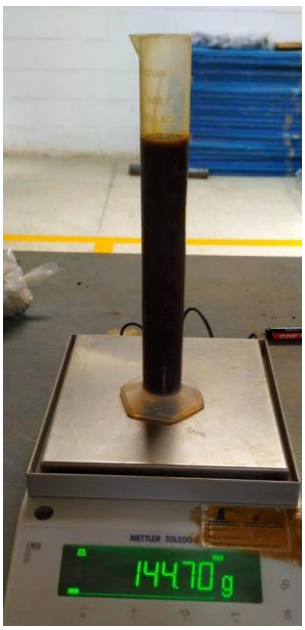
Tabla 14.

Composición de la melaza empleada

Producto: Melaza		
	Especificaciones	
	Organolépticas	
Color	Café obscuro	
Sabor	Dulce ligeramente amargo	
Aroma	Característico	
Aparicciencia	Liquido Viscoso	
	Físico Químicos	
Análisis	**Unidad**	**Muestra**
Brix	°BRIX	88,25
Sacarosa	%	40,8
Densidad	g/cm3	1,47
Cenizas	%	14,2
Proteína	%	0,7
Azucares Reductores	%	10,6
Azucares totales	%	51,4
Hidratos de carbono	%	70,6
Energía	kcal/100g	276,4
Calcio	mg/100g	881,336
Sodio	mg/100g	54,936
Fosforo	mg/100g	20,65
Solubilidad en agua	Soluble	
Presión de vapor mm Hg a 20°C	44°C	
Temp. De Ebullición	90°C	

Fuente:.(Ingenio Azucarero del Norte, 2021). Elaboración propia.

La relación existente entre la masa y el volumen de un mismo material se conoce como la densidad, la melaza empleada para esta investigación fue analizada en las condiciones del laboratorio en el que se realizó todo el proceso, como se muestra en la fotografía 10 se obtuvo un peso 144,70 gr correspondiente a un volumen de 100ml.



Fotografía 10. Densidad de la melaza.

5. Capítulo 5: Elaboración del mampuesto en base a la densidad Máxima por el Método de Compactación Proctor.

En este capítulo se desarrolla la metodología basada en la compactación Proctor, se detalla paso a paso su procedimiento y la preparación de los materiales a utilizarse. Las diferentes combinaciones propuestas elaboradas se ensayan mecánicamente con el fin de evaluar el comportamiento de la combinación producto de la presencia de los materiales.

5.1. Fundamentación teórica del procedimiento.

Se ha establecido como parámetro principal el criterio de compactación con el fin de generar una densidad adecuada para el ladrillo en su etapa inicial. El método para determinar la cantidad de agua necesaria relacionada con la mayor cantidad de partículas de suelo en un volumen determinado se denomina método Proctor el cual es utilizado actualmente para lograr el mayor grado de acomodo de las partículas del suelo y es empleado principalmente en la construcción de carreteras.

El principal objetivo por el cual se realiza la compactación es elaborar un material que posee propiedades mecánicas adecuadas en términos de resistencia, deformación y permeabilidad, para un determinado material estas propiedades dependen de tres factores fundamentales, el contenido de humedad que se utilice, la energía de compactación y el método de utilizado (Pérez et al., 2012).

5.1.1. Proctor Estándar

Para la presente investigación se ha establecido la utilización del método de compactación Proctor estándar ya que se considera una energía de compactación similar a la empleada artesanalmente.

La prueba Proctor estándar consiste en compactar una cantidad de suelo en un molde de 10.1 cm de diámetro por 11.16 cm de altura. El material se compacta en 3 capas y en cada capa se aplican 25 impactos con un pisón de 2.5 kg. Después de compactar la tercera capa, se enrasa y se determina la masa del material compactado. Esto se repite para varios contenidos de agua. Al final se obtiene una serie de datos de pesos volumétricos secos y contenidos de agua que se grafican para obtener el resultado típico que es la curva de compactación. Es importante hacer notar que el número de golpes, la masa de pisón y molde utilizado varía de acuerdo con el tamaño máximo de partícula que contenga la muestra (Methods, 2009).

5.2. Preparación de materiales a emplearse

Antes de mezclar los materiales es indispensable realizar determinados procedimientos con el fin de que el material cumpla con las condiciones necesarias para que pueda ser añadido a la combinación, se presenta de amanera individual el procedimiento realizado para cada uno de los materiales.

5.2.1. Suelo

La obtención de la muestra de suelo se realizó en base a la norma INEN 686.Para realizar el ensayo Proctor modificado es necesario que el suelo haya sido secado al aire por un tiempo mínimo de 24 horas lo cual se realizó conforme la norma ASTM

D698, realizada esta actividad se procedió a separar las partículas por su tamaño de suelo mediante el uso de el tamiz # 4 como se puede ver en la fotografía 11.



Fotografía 11. Muestra de suelo pasa tamiz #4.

Posteriormente fue necesario la utilización de partículas más pequeñas, por esta razón se realizó un tamizado por el #40.



Fotografía 12. Muestra de suelo pasado tamiz #40.

5.2.2. Ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA)

Considerando el estado natural en el que se encuentra la ceniza después de haber sido generada por el proceso de producción de la planta fue necesaria la eliminación de impurezas introducidas por el medio ambiente y principalmente por los residuos incinerados parcialmente durante su trasformación.



Fotografía 13. Ceniza del bagazo de la caña de azúcar con residuos incinerados.

Con el fin de reducir los residuos de bagazo de caña fue necesario desarrollar un procedimiento basado en los criterios de hidráulica general y parte del fundamento de clasificación granulométrica mecánica como se muestra en la figura 12.

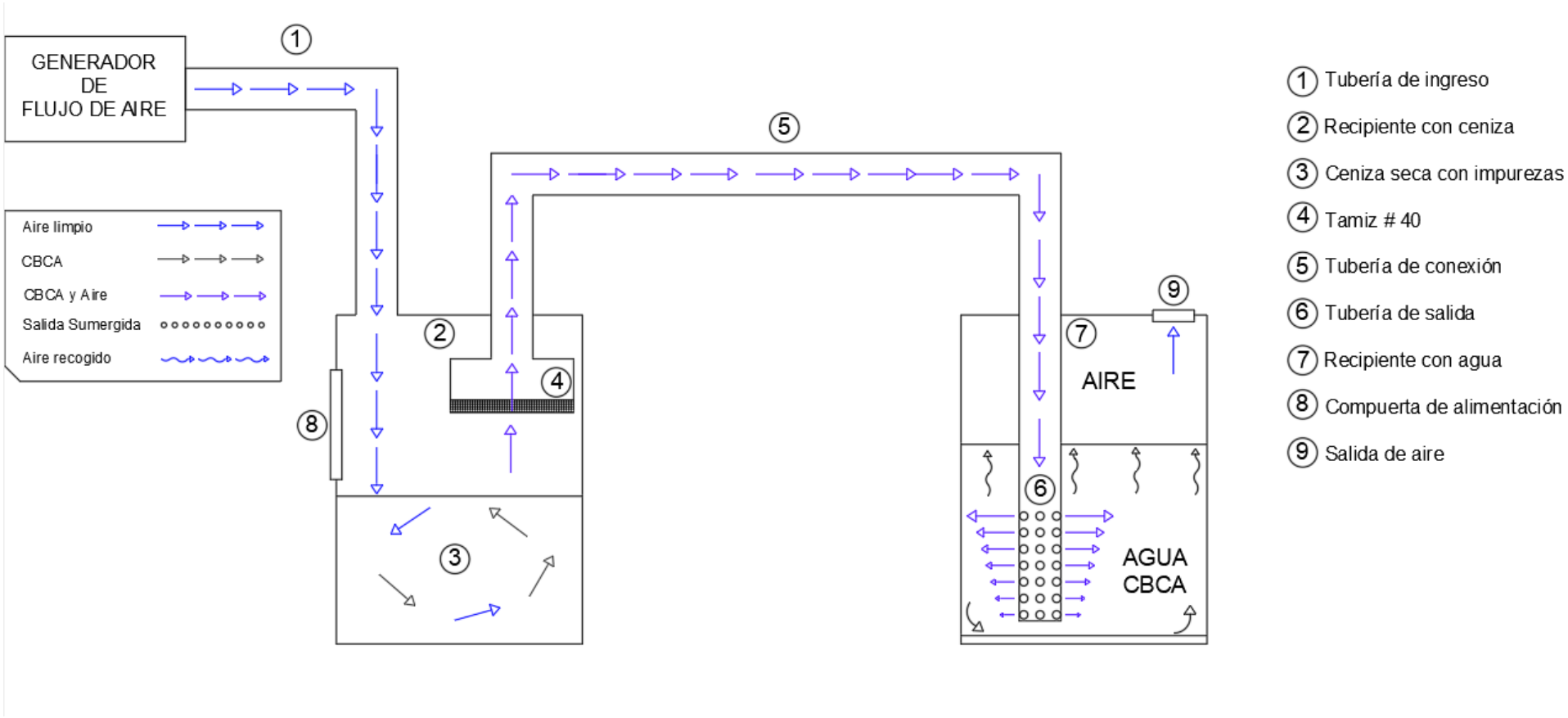


Figura 12. Esquema del sistema hidráulico.

Con el fin de optimizar el tiempo de tamizado de la CBCA se creó el sistema presentado (Figura 12), el cual funciona de la siguiente manera: En primer lugar, es necesario secar la ceniza en el horno a 110 °C por 24 horas, el material seco se coloca en el contenedor de manera que exististe espacio suficiente para que se genere un flujo turbulento de aire en el interior. En la tapa superior se realizan dos orificios, en el primero se conecta la tubería de ingreso por la cual se incorpora aire a una velocidad constante el cual llega al contenedor produciendo la suspensión de las partículas más finas al aire, las cuales son empujadas a través del tamiz 40 hacia afuera generando de esta manera el tamizado por presión de aire.

Una vez que las partículas del material han pasado el tamiz 40 se desplazan por medio de la tubería de conexión hasta llegar a la tubería de salida en la cual existen orificios esto permite que las partículas se recojan en agua evitando así que se pierda material fino en el aire.

Se extrae el agua en la que se ha recogido el material fino (fotografía 14) con el fin de secarla en el horno a 110°C y de esta manera se obtiene el material fino a emplearse en el mampuesto.



Fotografía 14. CBCA con agua (extracción del agua).

Una vez empleado el proceso descrito anteriormente, se procede a extraer del horno la CBCA a utilizarse para la investigación.



Fotografía 15. CBCA seca.

5.2.3. Melaza

Tanto la ceniza como la melaza se adquirieron directamente en el Ingenio azucarero del norte; fue necesario mantener la melaza a una temperatura constante de 20 °C con

el fin de evitar cambios en su densidad, peso específico y demás propiedades. Se realizó el ensayo de gravedad específica en función de su masa y su volumen en el Laboratorio de Materiales de Construcción de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador obteniendo el mismo resultado de la ficha técnica proporcionada por el fabricante.



Fotografía 16. Melaza para la investigación.

5.3. Desarrollo del método 1

Para determinar las proporciones ideales para la elaboración del mampuesto se realizaron las combinaciones mostradas a continuación

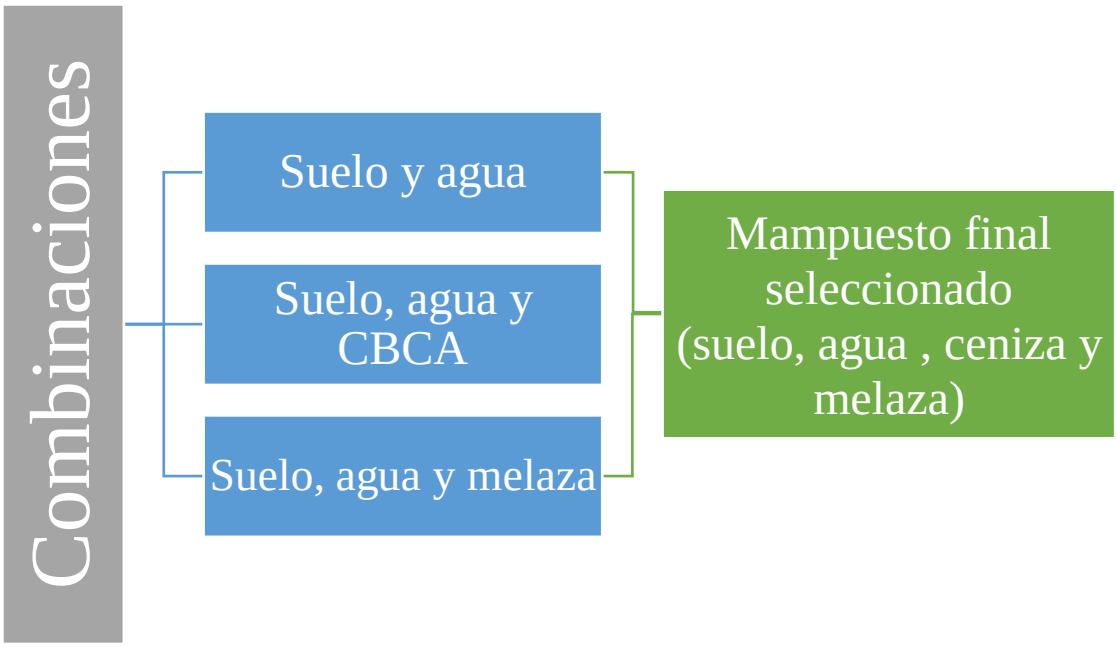


Figura 13. Combinaciones método 1.

Los pasos realizados para la producción de la mezcla propuestos por este método son:

5.3.1. Mezcla

Se realiza la mezcla de los materiales en función de la masa para ello es indispensable eliminar por completo el contenido de humedad existente tanto en el suelo como la ceniza para poder dosificar las cantidades de manera directa y lograr una masa homogénea.

Con respecto a la mezcla de agua y melaza es necesario considerar que tienen distinto peso específico lo cual imposibilita mezclar al volumen como se hizo anteriormente con los sólidos. En consecuencia, se ha decidido realizar la dosificación considerando la masa de la melaza y la masa del agua.

5.3.2. Obtención de la Densidad máxima y humedad óptima

Para obtener la cantidad de agua a utilizarse fue necesaria la determinación de la densidad máxima en cada una de las distintas combinaciones previo a la reconstitución de la muestra.

5.3.3. Reconstitución de la muestra

Una vez obtenido el mejor resultado en densidad con una cantidad de agua específica por cada combinación se procede a reconstituir tres muestras considerando que debe existir un mínimo de probetas ensayadas tanto en absorción como en compresión simple para poder obtener datos que puedan ser validados de manera adecuada.

Para la extracción de las muestras se utilizó una gata mecánica.



Fotografía 17. Extracción de las muestras con gata mecánica.

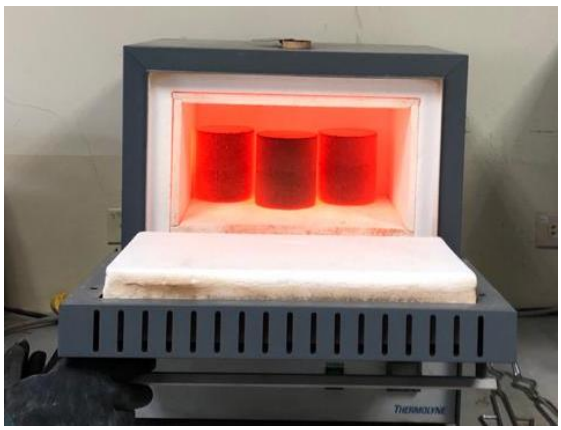
Cuando el proceso de extracción finalizo debe colocarse la muestra con mucho cuidado en una superficie plana teniendo em cuenta la fragilidad de los bordes de la muestra extraída como se muestra en la fotografía 18.



Fotografía 18. Muestra ya extraída.

5.3.4. Proceso de cocción de las probetas

El proceso de cocción de ladrillos artesanales está en un rango de aproximadamente 900°C a 1000 ° C (Rodhes, 1989) y un tiempo de cocción a temperatura variable llegando a picos cercanos a los limites mencionados trascurrido el 60% del tiempo de cocción.



Fotografía 19. Muestras en cocción.

La temperatura de cocción seleccionada para las probetas obtenidas fue de 900° C a un tiempo de 8 horas en la Mufla encendida; el tiempo de enfriamiento de las muestras cocidas dentro de la Mufla fue de 18 horas.

La figura 14 muestra la variación de temperatura en función del tiempo, aproximadamente durante las dos primeras horas la temperatura incrementa paulatinamente hasta alcanzar los 900 °C, se mantiene dicha temperatura durante 6 horas sin variaciones considerables en las cuales se aplica la mayor cantidad de energía, lo cual produce en gran medida la cocción del mampuesto.

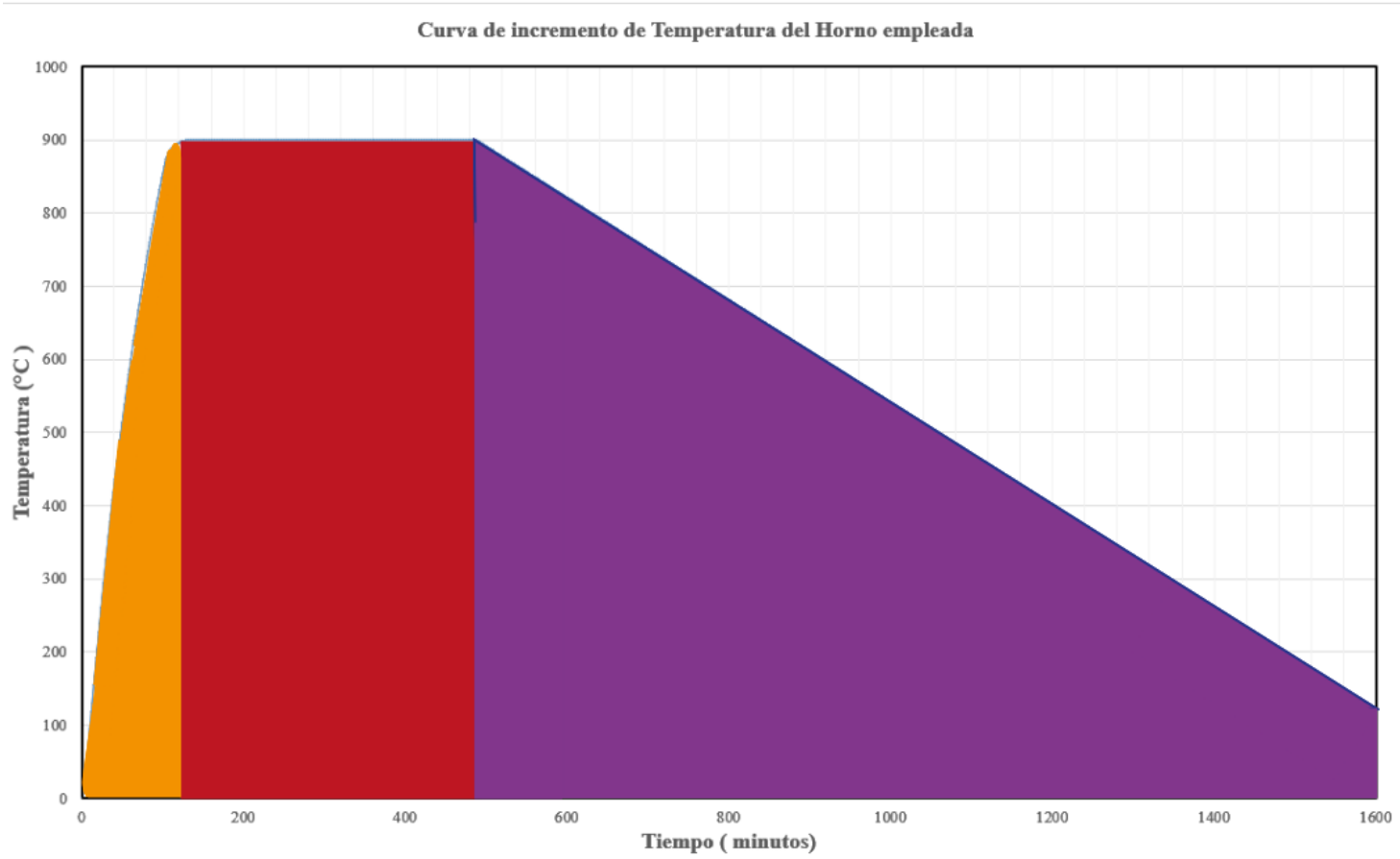


Figura 14. Curva de Incremento de Temperatura del Horno empleada.

La formación de cristales se produce en todas las fases en especial a partir del inicio del proceso de enfriamiento, el cual se desarrolla en un tiempo de 16 horas hasta llegar a 144 °C, temperatura a la cual es posible abrir el horno hasta que llegue a una temperatura de 80 °C y sea posible sacar las muestras.

5.3.5. Ensayos de Absorción y Resistencia a compresión simple

Los ensayos considerados para la determinación de las probetas idóneas serán Resistencia a la Compresión Simple y Absorción ya que estas características son determinantes para conocer el comportamiento de la combinación en condiciones reales de uso.

ENSAYO DE ABSORCIÓN

Cuando los ladrillos acaban de salir del horno experimentan ligeros aumentos de peso si son expuestos al ambiente, esto debido a su característica higroscópica, existe una variación de esta tasa de aumento de la masa la cual depende del tipo de ladrillo, lugar y humedad ambiental.

La absorción se describe como la determinación de las masas de una muestra de ladrillo antes y después de ser sumergida en agua. Estableciéndose la diferencia entre las dos masas como base para conocer el valor de la absorción de la humedad (INEN, 1977a).

El aumento de masa de un ladrillo sumergido por un tiempo de 18 horas como mínimo se debe a el agua que se introduce en los poros del material y no incluye el agua adherida a la superficie de las partículas, se expresa en porcentaje de la masa seca y puede considerarse como un índice de la porosidad del material (Lozano, 2010).

Este ensayo se basó en dos normativas, la primera NTE INEN 296 Ladrillos Cerámicos. Determinación de absorción de húmeda; y la segunda norma ASTM C67/C67M – 19: Standard Test Methods for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile (American Society for Testing and Materials, 2019).

Para obtener la Absorción se realiza este cálculo mediante la ecuación

$$Absorcion, \% = \frac{P_2 - P_1}{P_1} \times 100$$

Ecuación 6. Absorción.

Donde:

$P_{1=}Masa\ seca\ del\ especimen\ antes\ de\ la\ inmersion\ (g)$

$P_2 = Masa\ del\ especimen\ despues\ de\ 24\ horas\ sumergida$ (g)

ENSAYO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Una vez que las probetas se sacaron del horno y se secaron al ambiente, se procedió a realizar el refrentado en las caras a ensayarse según la normativa para que las superficies donde se realiza el ensayo de Resistencia a la compresión estén paralelas y sin irregularidades colocando yeso de alta resistencia ya que este material no falla antes del material ensayado.



Fotografía 20. Probetas con refrentado de yeso

La Resistencia a la Compresión de cualquier material es la a resistencia al fallo o esfuerzo de compresión máxima bajo la acción de una fuerza de compresión sobre un área que se aplica de forma gradual. Algunos materiales se fracturan a su límite de resistencia a la compresión, este parámetro se calcula dividiendo la carga máxima por el área de la sección trasversal la aplicación de la fuerza (Gualacata & Ortega, 2017).

La carga que se aplique para determinar la resistencia a la compresión de un ladrillo ejercerá el esfuerzo correspondiente, en la misma dirección en que las cargas o los pesos propios vayan a actuar sobre él en las construcciones. En caso de duda, esta dirección corresponderá a la menor dimensión del ladrillo (NTE INEN 0294, 1978).

Debido al método de compactación Proctor las muestras que se utilizaron para este ensayo fueron diseñadas con la geometría de un cilindro con el fin de evitar la concentración de esfuerzos en las caras superiores.

Este ensayo se basa en dos normativas: ASTM C67/C67M – 19: Standard Test Methods for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile (American Society for Testing and Materials, 2019). NTE INEN 0294 (1978): Ladrillos cerámicos.

Determinación de la resistencia a la compresión. La Resistencia a la Compresión se calcula por la siguiente ecuación:

$$Resistencia\ a\ la\ compresion,\ \ C = \frac{P}{A}$$

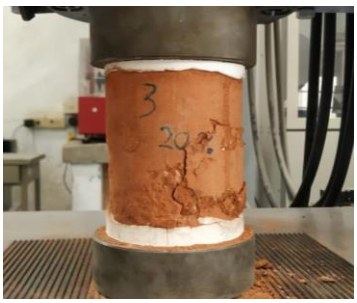
Ecuación 7. Resistencia a la Compresión.

Donde:

$C = Resistencia\ a\ la\ compresion\ (Mpa)$.

$W = Carga\ de\ rotuta\ (N)$.

$A = Área\ de\ la\ sección\ superior\ del\ especimen\ (mm)$.



Fotografía 21. Ensayo de compresión simple

5.4. Resultados obtenidos

De cada combinación se presentan los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia a la compresión y absorción

5.4.1. Suelo y agua

El principal objetivo del análisis de esta mezcla es el de conocer el comportamiento del suelo ya que las mezclas a realizarse posteriormente dependerán de él en gran

proporción siendo este el material base; el porcentaje mínimo de humedad que el suelo necesita para alcanzar un reacomodo de las partículas tiene que ser considerado para las siguientes combinaciones.

Con el propósito de demostrar la afectación que produce la inclusión de la arena en la granulometría del suelo con respecto al desempeño en las propiedades mecánicas se decidió realizar 6 probetas: 3 probetas con el material que pasa el tamiz # 40 y 3 probetas con el material pasante del Tamiz # 4.

5.4.1.1. Compactación Proctor estándar.

Se muestran los resultados obtenidos para cada mezcla utilizando la combinación suelo-Agua, en primer lugar, se establecen los resultados tabulados en tablas los cuales posteriormente se representan mediante un gráfico para cada uno de los casos.

- **Proctor que pasa tamiz # 40**

Tabla 15.

Datos curva de compactación suelo pasado tamiz #40

Puntos	**Densidad Húmeda**	**Densidad Seca**	**Contenido de humedad (%)**	**Resultados**
	Ym(g/cm3)	**Yd (g/cm3)**		**Humedad optima, %**
1	1,56	1,31	19,47	27,10
2	1,67	1,37	21,94	
3	1,81	1,43	27,03	**Densidad seca máxima, g/cm3**
4	1,82	1,37	33,08	
5	1,80	1,35	33,97	1,428

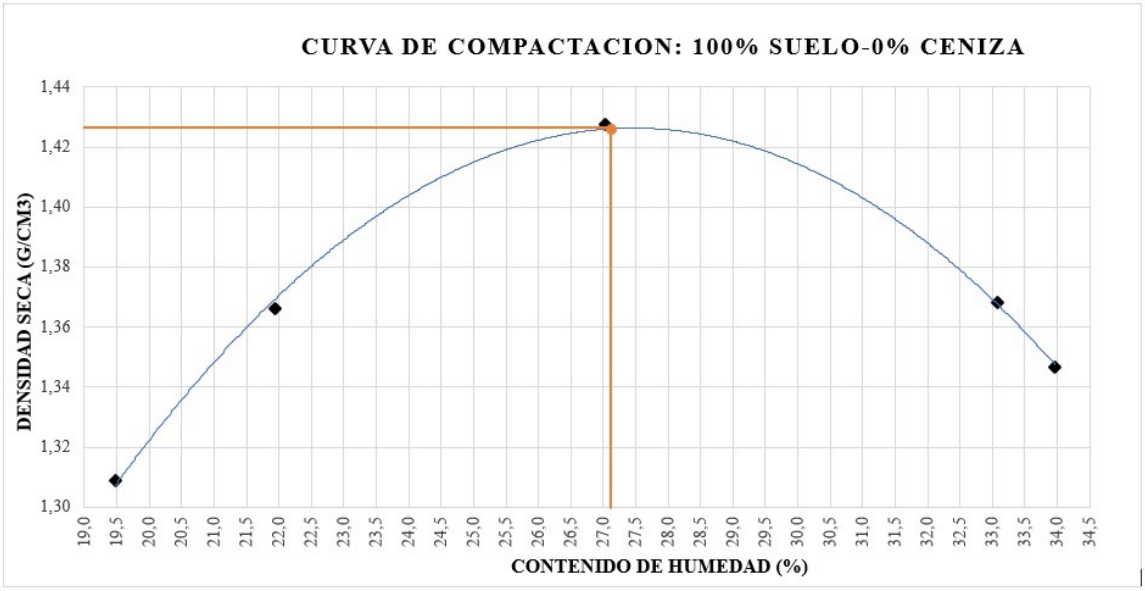


Gráfico 5. Curva de compactación de suelo pasado el tamiz #40.

- **Proctor que pasa tamiz #4**

Tabla 16.

Datos curva de compactación suelo natural pasado tamiz #4

Puntos	Densidad Húmeda	Densidad Seca	Contenido de Humedad	Resultados
	Ym(g/cm3)	Yd (g/cm3)	%	Humedad optima, %
1	1,50	1,21	24,15	32
2	1,72	1,32	30,50	**Densidad seca máxima, g/cm3**
3	1,76	1,30	35,50	1,33

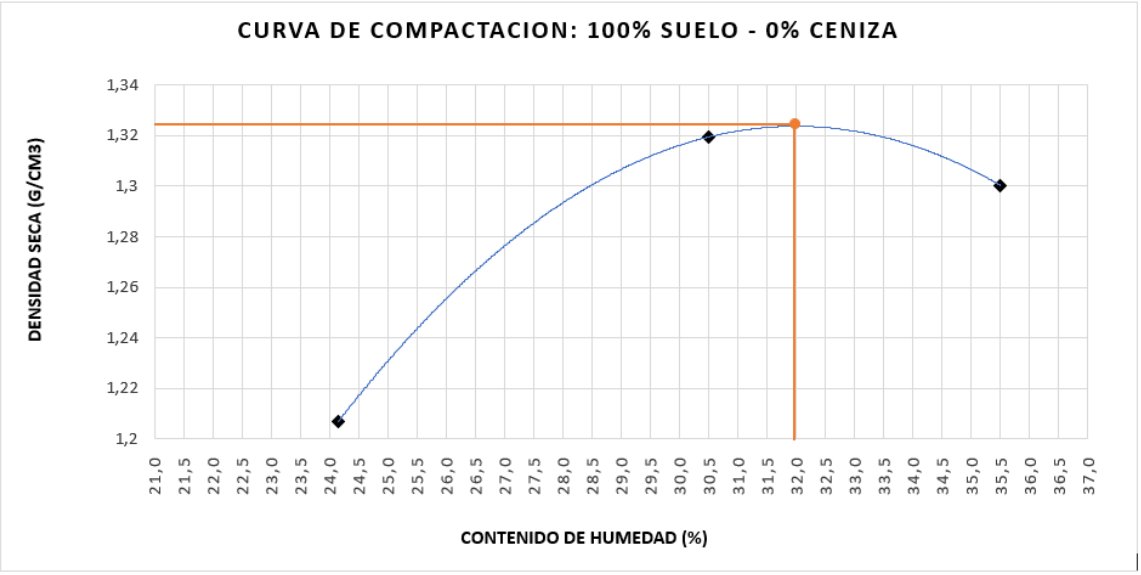


Gráfico 6. Curva de compactación pasado el tamiz #4.

5.4.1.2. Ensayo Resistencia a la Compresión simple

Tabla 17.

Datos ensayo de Resistencia de compresión suelo natural

	Muestra	Carga máxima de rotura (N)	Área (mm2)	Resistencia a la compresión (Mpa)
PASADO TAMIZ 40	Muestra A	29407,36667	7320,90	4,02
PASA TAMIZ #4	Muestra B	19183,96667	7567,62	2,54

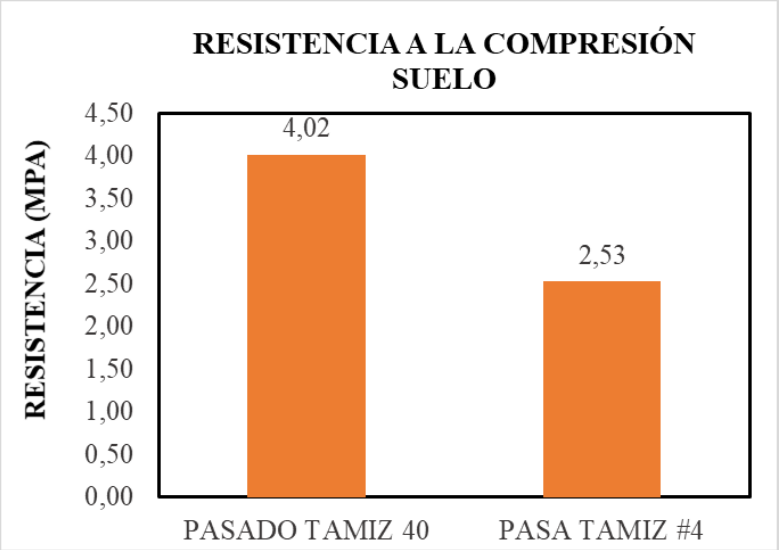


Gráfico 7. Resistencia a la compresión del suelo.

5.4.1.3. Ensayo Absorción

Tabla 18.

Datos ensayo de Absorción suelo natural

	Muestra	Absorción de ladrillo
Pasado tamiz #40	**A**	26,47 %
Pasa tamiz #4	**B**	31,98 %

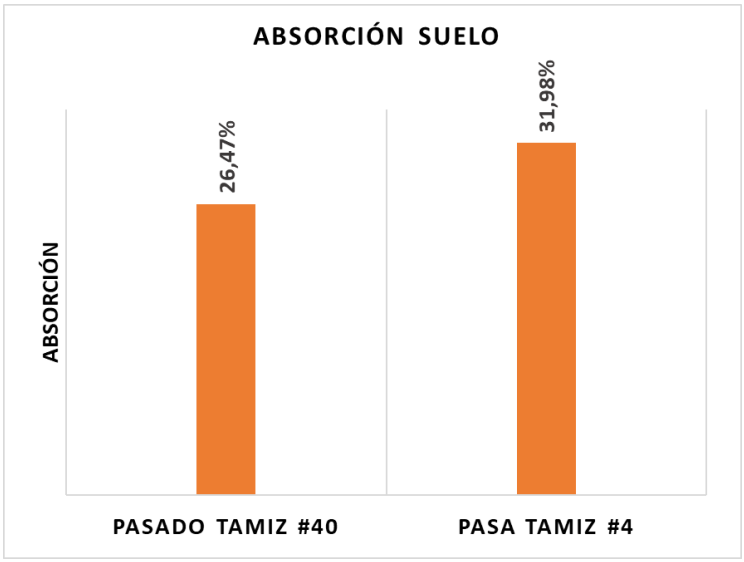


Gráfico 8. Absorción del suelo.

5.4.2. Suelo, CBCA y agua

Para la realización de la investigación se decidió emplear las siguientes proporciones con el fin de abarcar un amplio rango de afectación en la combinación. Para lograr una mezcla uniforme fue necesario secar y pesar tanto la ceniza como el suelo, posteriormente se procedió a mezclar estos antes de que alcancen su equilibrio higroscópico.



Fotografía 22. Mezcla de suelo con CBCA

Tabla 19.

Mezclas realizadas con Suelo y CBCA

	Porcentaje de Suelo	**Porcentaje de CBCA**	**Total**
Mezcla 1	99 %	1 %	100 %
Mezcla 2	98 %	2 %	100 %
Mezcla 3	95 %	5 %	100 %
Mezcla 4	88 %	12 %	100 %
Mezcla 5	85 %	15 %	100 %
Mezcla 6	80 %	20 %	100 %
Mezcla 7	70 %	30 %	100 %

5.4.2.1. Compactación Proctor Estándar

Se muestran los resultados obtenidos para cada mezcla utilizando la combinación suelo-Agua-CBCA, en primer lugar, se establecen los resultados tabulados en tablas los cuales posteriormente se representan mediante un gráfico para cada uno de los casos.

- **Mezcla 1: 99 % Suelo, 1 % CBCA**

Tabla 20.

Datos curva de compactación mezcla 1

Puntos	Densidad Humedad Ym(g/cm3)	Densidad Seca Yd (g/cm3)	Contenido de Humedad %	Resultados Humedad optima, %
1	1,64	1,31	24,61	34,57
2	1,79	1,38	29,80	**Densidad seca máxima, g/cm3**
3	1,69	1,25	34,74	1,39

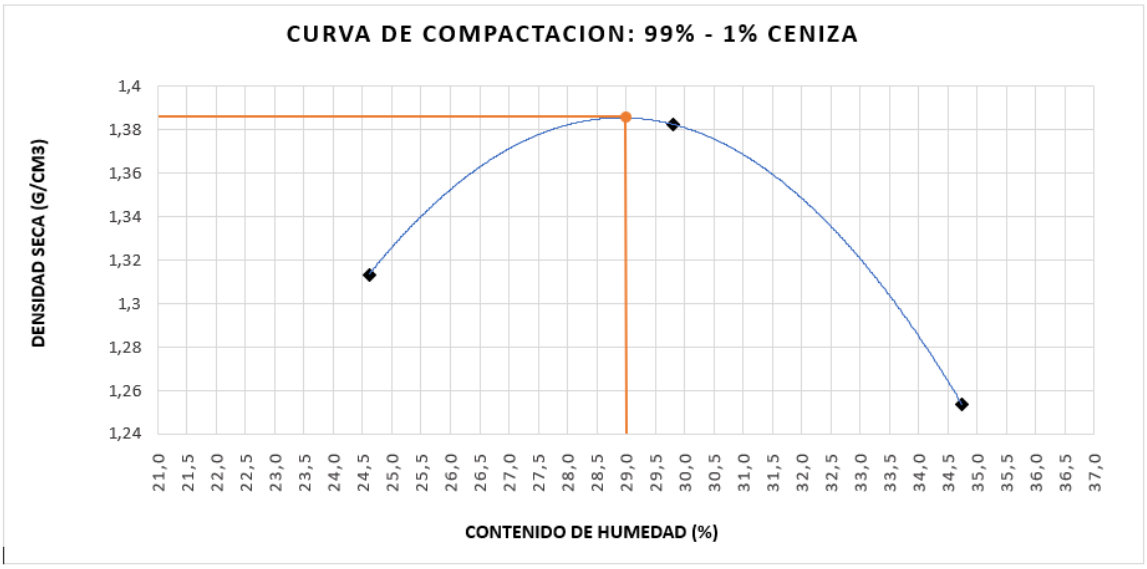


Gráfico 9. Curva de compactación mezcla 1.

- **Mezcla 2: 98 % Suelo, 2 % CBCA**

Tabla 21.

Datos curva de compactación mezcla 2

Puntos	Densidad Húmeda	Densidad Seca	Contenido de Humedad %	Resultados
	Ym(g/cm3)	Yd (g/cm3)		Humedad optima, %
1	1,71	1,35	26,99	29,25
2	1,79	1,38	29,80	**Densidad seca máxima, g/cm3**
3	1,69	1,26	33,57	1,39

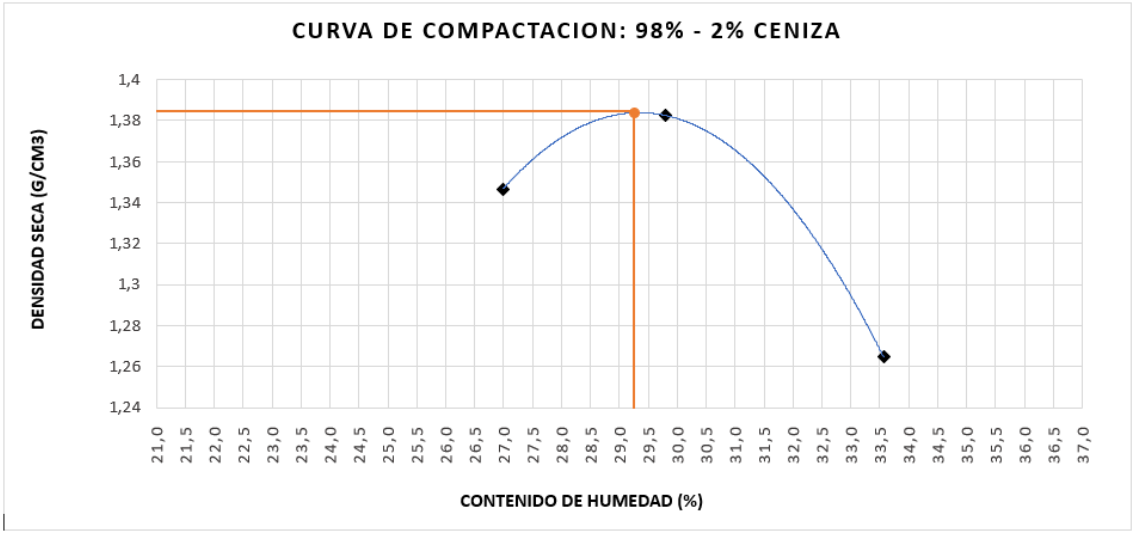


Gráfico 10. Curva de compactación mezcla 2.

- **Mezcla 3: 95 % Suelo, 5 % CBCA**

Tabla 22.

Datos curva de compactación mezcla 3

Puntos	Densidad Húmeda	Densidad Seca	Contenido de Humedad %	Resultados
	Ym(g/cm3)	Yd (g/cm3)		Humedad optima, %
1	1,71	1,34	27,40	30,20
2	1,86	1,42	31,29	**Densidad seca máxima, g/cm3**
3	1,70	1,27	33,95	1,425

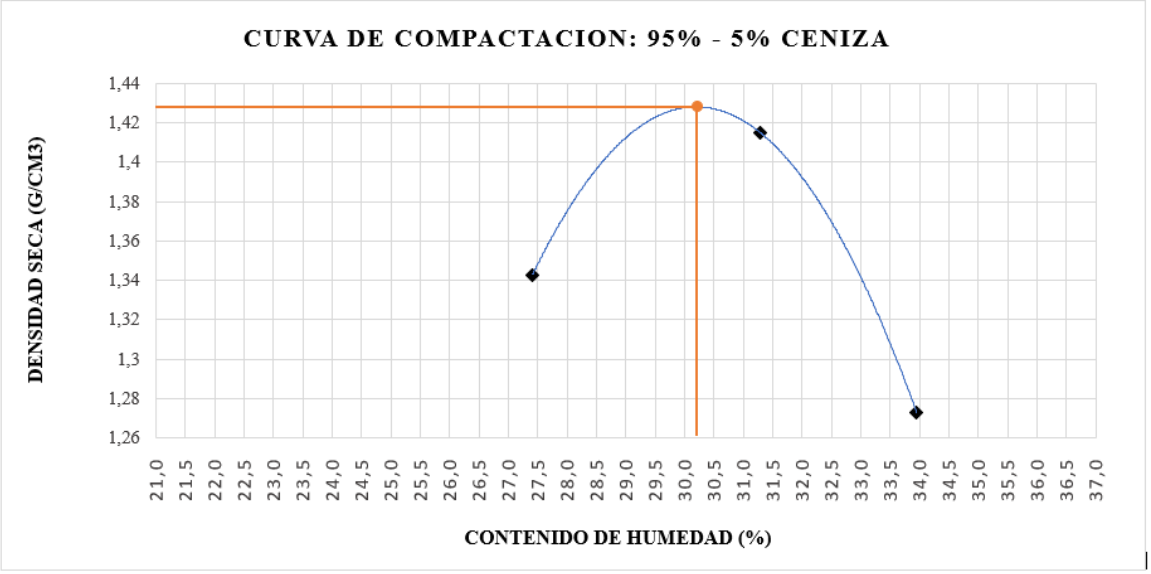


Gráfico 11. Curva de compactación mezcla 3.

- **Mezcla 4: 88 % Suelo, 12 % CBCA**

Tabla 23.

Datos curva de compactación mezcla 4

Puntos	Densidad Húmeda Ym(g/cm3)	Densidad Seca Yd (g/cm3)	Contenido de Humedad (%)	Resultados Humedad optima, %
1	1,55	1,24	24,38	30,65
2	1,66	1,27	28,01	**Densidad seca máxima, g/cm3**
3	1,73	1,29	30,69	
4	1,67	1,24	34,47	1,28

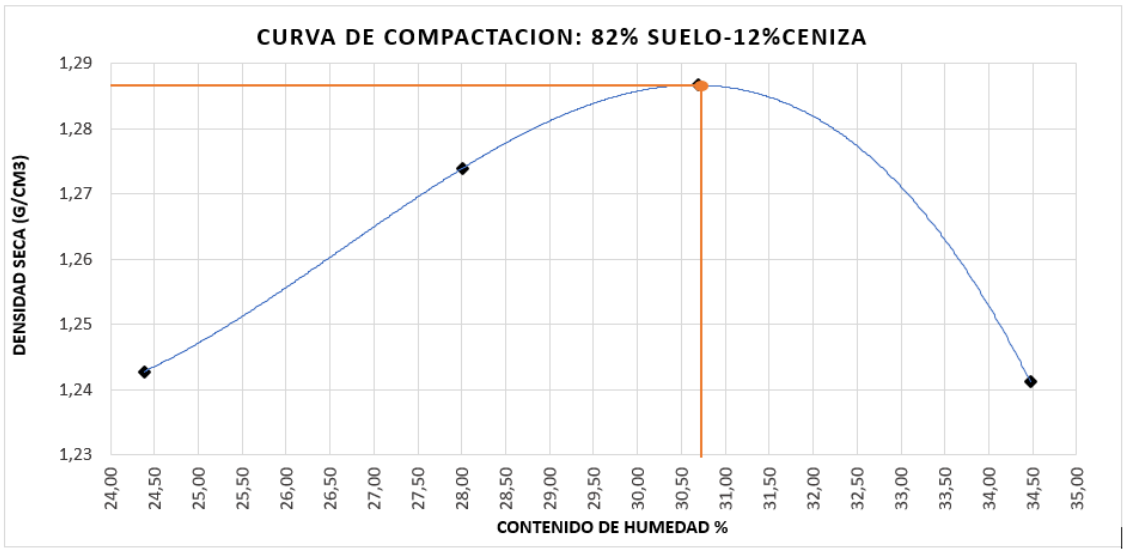


Gráfico 12. Curva de compactación mezcla 4.

- **Mezcla 5: 85 % Suelo, 15 % CBCA**

Tabla 24.

Datos curva de compactación mezcla 5

Puntos	Densidad Húmeda	Densidad Seca	Contenido de humedad (%)	Resultados
	Ym(g/cm3)	Yd (g/cm3)		Humedad optima, %
1	1,52	1,20	26,33	29,20
2	1,56	1,21	29,17	**Densidad seca máxima, g/cm3**
3	1,58	1,20	31,77	
4	1,57	1,06	48,24	1,205

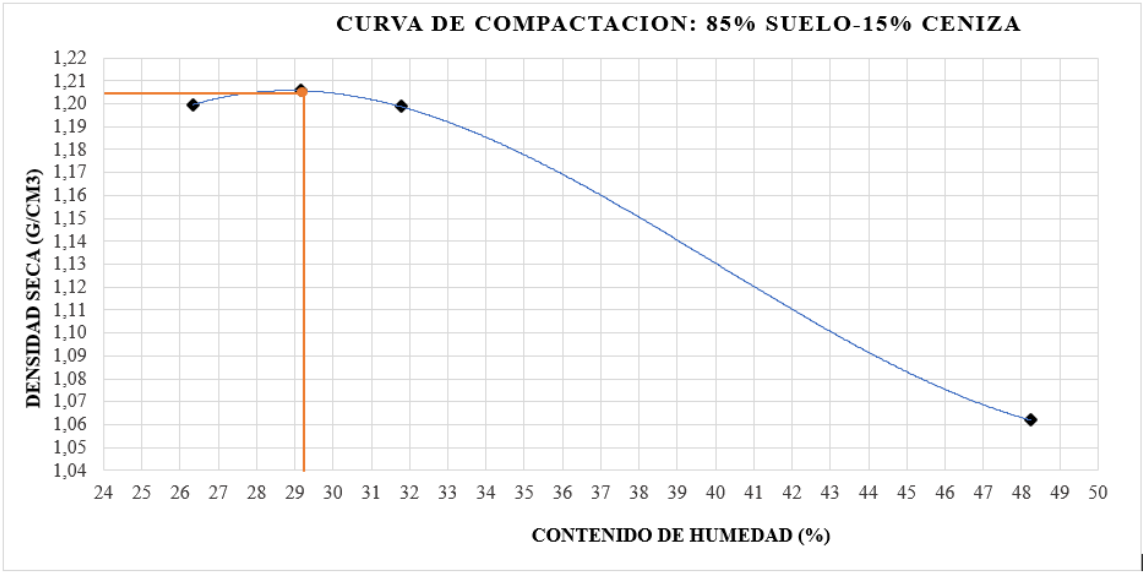


Gráfico 13. Curva de compactación mezcla 5.

- **Mezcla 6: 80 % Suelo, 20 % CBCA**

Tabla 25.

Datos curva de compactación mezcla 6

Puntos	**Densidad** Húmeda	**Densidad Seca**	**Contenido de humedad %**	**Resultados**
	Ym(g/cm3)	**Yd (g/cm3)**		**Humedad optima, %**
1	1,44	1,15	25,57	31,25
2	1,52	1,18	28,75	**Densidad seca máxima, g/cm3**
3	1,55	1,18	31,66	
4	1,58	1,17	35,46	1,189

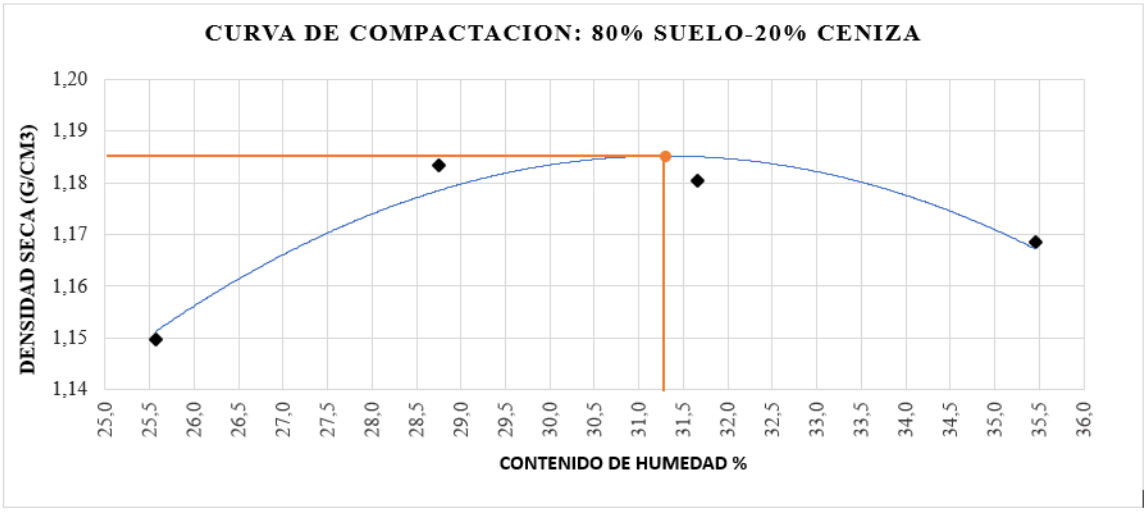


Gráfico 14. Curva de compactación mezcla 6.

- **Mezcla 7: 70 % Suelo, 30 % CBCA**

Tabla 26.

Datos curva de compactación mezcla 7

Puntos	Densidad Húmeda	Densidad Seca	Contenido de Humedad (%)	Resultados
	Ym(g/cm3)	Yd (g/cm3)		Humedad optima, %
1	1,184	0,95	24,37	26,5
2	1,213	0,95	27,40	**Densidad seca máxima, g/cm3**
3	1,233	0,94	31,39	
4	1,257	0,92	36,42	0,95

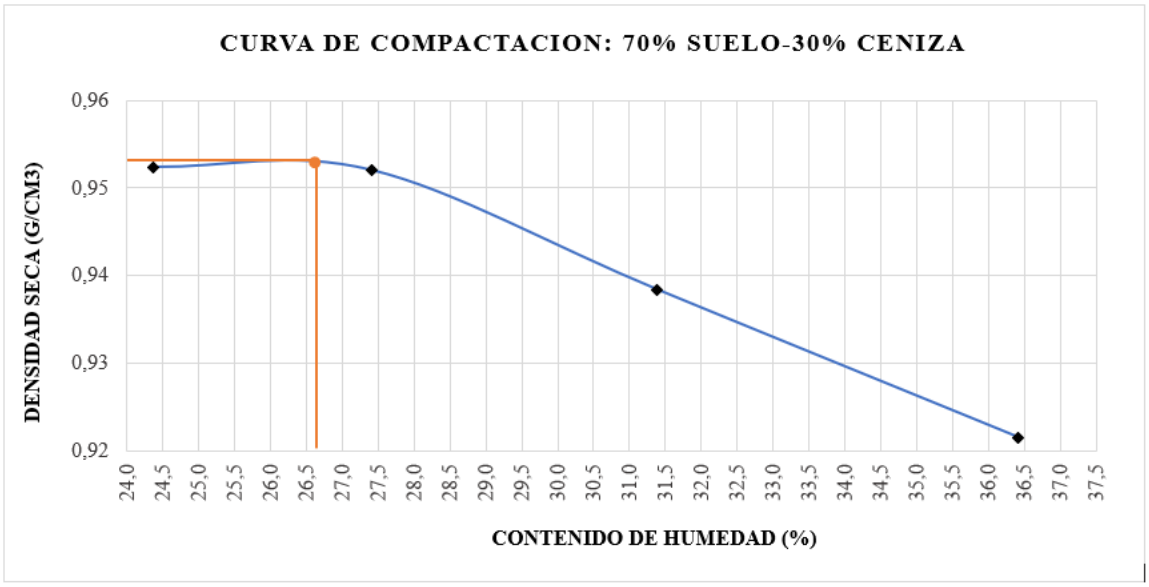


Gráfico 15. Curva de compactación mezcla 7.

5.4.2.2. Ensayo Resistencia a la Compresión simple

Las probetas realizadas con distintos porcentajes de variación de CBCA fueron ensayadas en las mismas condiciones, con el fin de determinar el comportamiento a la resistencia a la compresión simple para ello se realizó un gráfico en el cual se puede observar cada uno de los porcentajes relacionado con su resistencia mecánica.

Tabla 27.

Datos del ensayo Resistencia a compresión de suelo y CBCA

Porcentaje de variación	Muestra	Carga máxima de rotura (N)	Área (mm2)	Resistencia a la Compresión (Mpa)
1%	C1	16452,80	7632,51	2,16
2%	C2	7598,24	7544,50	1,01
5%	C3	6770,13	7542,96	0,90
12%	C4	2861,74	7999,69	0,36
15%	C5	2303,18	7621,16	0,30
20%	C7	909,96	7265,40	0,13
30%	C8	537,78	7643,36	0,07

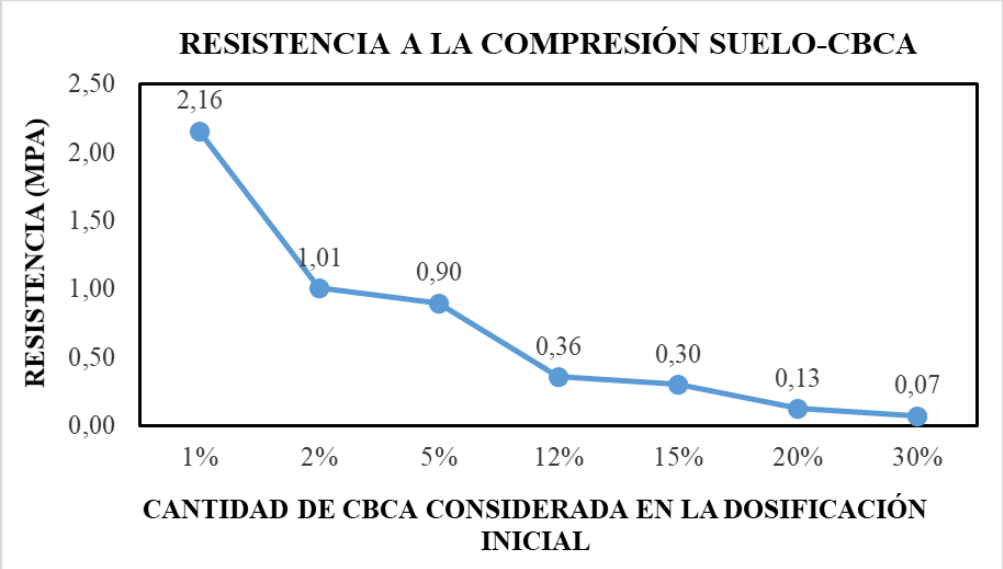


Gráfico 16. Resistencia a la compresión Suelo-CBCA.

La relación entre la cantidad de ceniza considerada y la resistencia a la compresión simple es inversamente proporcional en todos los tramos de el grafico mostrado, es evidente la afectación existente al introducir CBCA en la conformación de un material cocido, el mayor valor corresponde al 1% de CBCA con una resistencia de 2.16 Mpa.

5.4.2.3. Ensayo de Absorción

Las probetas realizadas con distintos porcentajes de variación de CBCA fueron ensayadas en las mismas condiciones, con el fin de determinar el porcentaje de absorción necesario, para ello se realizó un gráfico en el cual se puede observar la variación entre el porcentaje de CBCA y la absorción

Tabla 28.

Datos de ensayo de Absorción de suelo y CBCA

Muestra	% de Ceniza	Absorción
C1	1%	29,6%
C2	2%	33,6%
C3	5%	34,8%
C4	12%	38,6%
C5	15%	45,0%
C6	20%	49,7%
C7	30%	56,7%

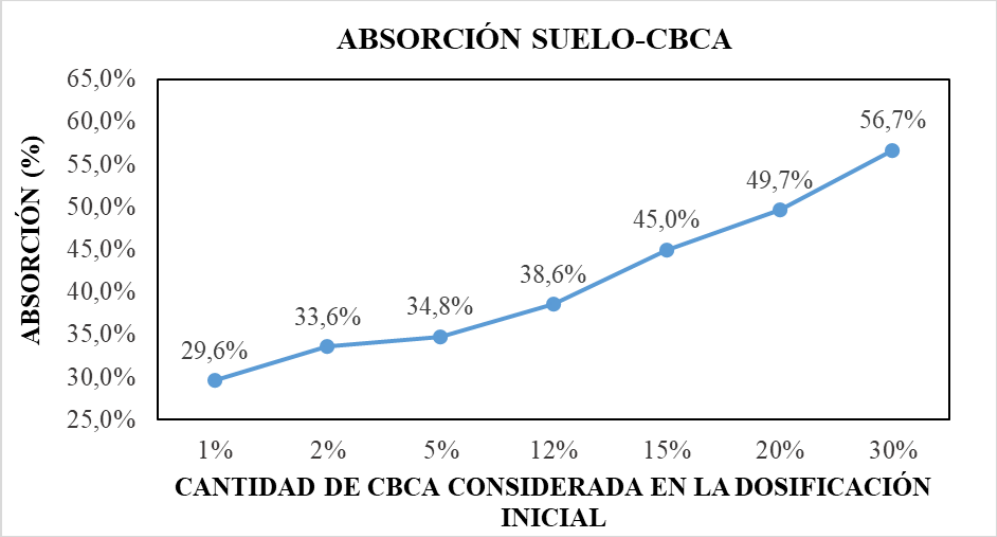


Gráfico 17. Absorción suelo-CBCA.

La relación entre la cantidad de ceniza considerada y la absorción es directamente proporcional en todos los tramos de el grafico mostrado, es evidente la afectación existente al introducir CBCA en la conformación de un material cocido, el menor valor corresponde al 1% de CBCA con una absorción de 29.6 %.

Según los resultados obtenidos, es evidente la afectación producida por la inclusión de ceniza en un material cocido a 900 °C, los resultados menos desfavorables se muestran con el porcentaje de CBCA más bajo correspondiente al 1 %.

5.4.3. Suelo, Melaza y agua

Como se indicó anteriormente fue necesaria la obtención de la cantidad de agua relacionada con la densidad máxima obtenida en el ensayo de Proctor estándar realizado únicamente con suelo. Se considera la cuantía de agua mínima como una cantidad constante, la porción de melaza a emplearse varia como porcentaje del agua adicionada a la mezcla. La cantidad de suelo es la misma en peso en todas las mezclas.

De esta manera las proporciones de todas los componentes varían en función de la adición de melaza.

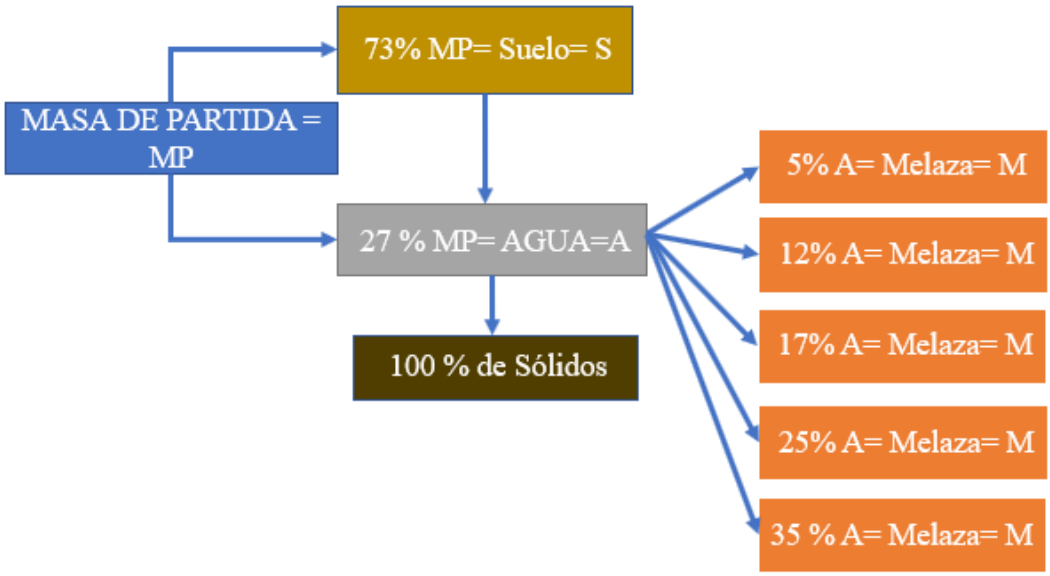


Figura 15. Mezclas con Melaza, Metodología 1.

Para la dosificación fue necesario trabajar las mezclas de todos los materiales en función de su masa puesto que la densidad de la melaza tiene un valor distinto a la del agua y no puede realizarse volumétricamente, el orden adecuado para lograr la homogeneidad deseada empieza por unir la melaza con el agua hasta que alcance una densidad uniforme para posteriormente adicionar esta mezcla al suelo.

Tabla 29.

Desarrollo de la Metodología 1

	Parcial						Porcentaje final de la mezcla total			
% Melaza añadido	**Suelo %**	**Suelo (g)**	**Agua %**	**Agua (g)**	**Melaza (g)**	**Total, en masa (g)**	**Suelo (%)**	**Agua (%)**	**Melaza (%)**	**Total (%)**
5	73	2000	27	540	27	2567	77,91	21,04	1,05	100
12	73	2000	27	540	64,8	2604,8	76,78	20,73	2,49	100
17	73	2000	27	540	91,8	2631,8	75,99	20,52	3,49	100
25	73	2000	27	540	135	2675	74,77	20,19	5,05	100
35	73	2000	27	540	189	2729	73,29	19,79	6,93	100

5.4.3.1. Ensayo Resistencia a la Compresión simple

Las probetas realizadas con distintos porcentajes de variación de melaza fueron ensayadas en las mismas condiciones, con el fin de determinar el comportamiento a la resistencia a la compresión simple para ello se realizó un gráfico en el cual se puede observar cada uno de los porcentajes relacionado con su resistencia mecánica.

Tabla 30.

Datos del ensayo Resistencia a compresión de suelo y Melaza

Porcentaje de variación	Muestra	Carga máxima de rotura (N)	Área (mm2)	Resistencia a la compresión (Mpa)
5% del agua	M1	5969,37	7654,21	0,78
12% del agua	M3	4029,19	7598,48	0,53
17% del agua	M4	3680,07	7542,96	0,49
25% del agua	M5	2802,21	8059,51	0,35
35% del agua	M6	1540,74	7721,03	0,20

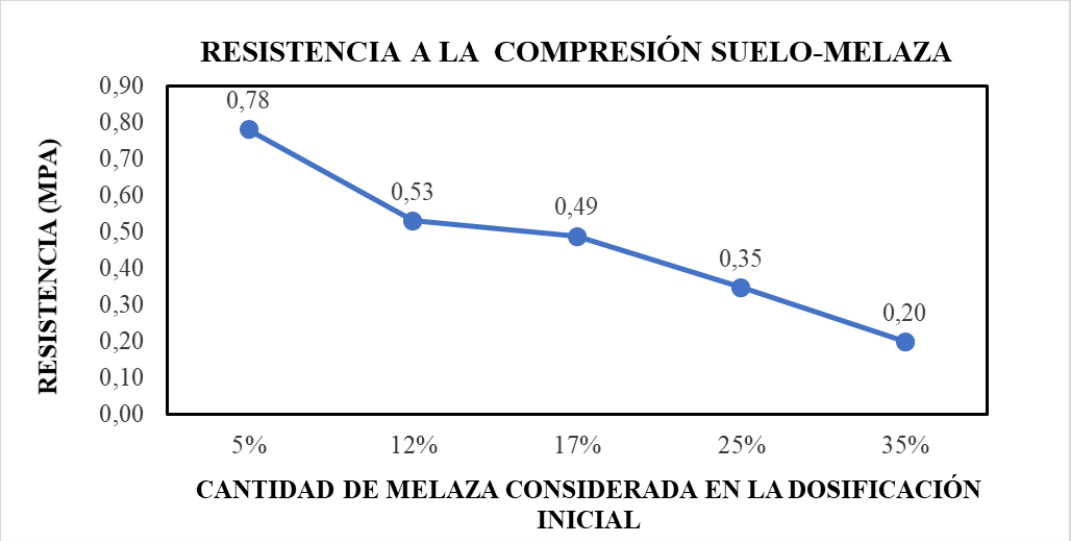


Gráfico 18. Resistencia a la compresión suelo-melaza.

La relación entre la cantidad de melaza considerada y la resistencia a la compresión simple es inversamente proporcional en todos los tramos de el grafico mostrado, es evidente la afectación existente al introducir melaza en la conformación de un material cocido, el mayor valor corresponde al 5% de melaza con una resistencia de 0.78 Mpa.

5.4.3.2. Ensayo de Absorción

Las probetas realizadas con distintos porcentajes de variación de melaza fueron ensayadas en las mismas condiciones, con el fin de determinar el porcentaje de absorción necesario, para ello se realizó un gráfico en el cual se puede observar la variación entre el porcentaje de melaza y la absorción

Tabla 31.

Datos de ensayo de Absorción de suelo y Melaza

Muestra	% de Melaza	Absorción
M1	5%	28,4%
M2	12%	32,4%
M3	17%	33,5%
M4	25%	33,8%
M5	35%	36,6%

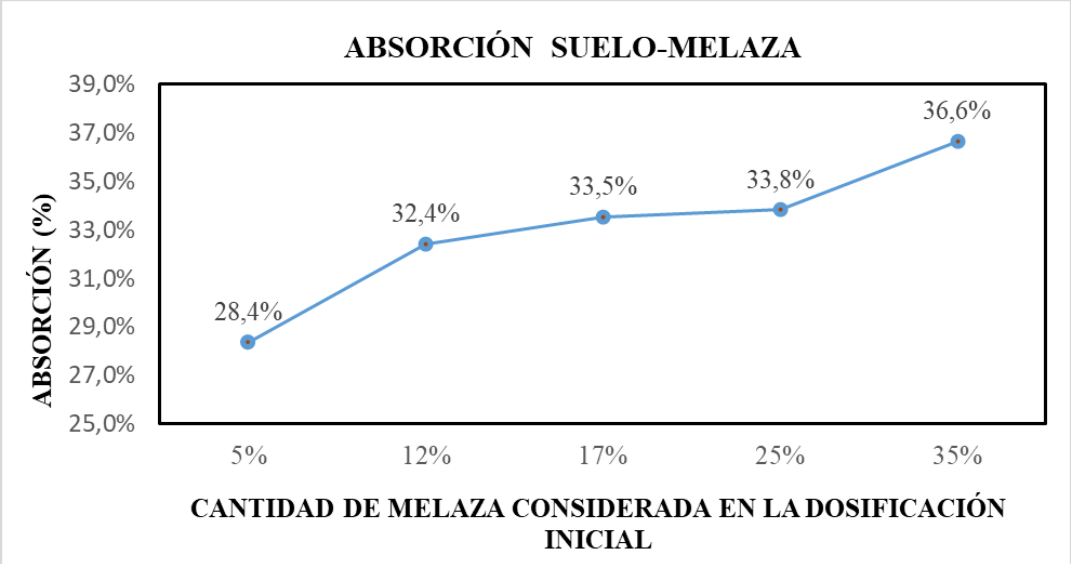


Gráfico 19. Absorción suelo-melaza.

La relación entre la cantidad de melaza considerada y la absorción es directamente proporcional en todos los tramos del grafico mostrado, es evidente la afectación existente al introducir melaza en la conformación de un material cocido, el menor valor corresponde al 5% de melaza con una absorción de 28.4 %.

Según los resultados obtenidos, es evidente la afectación producida por la inclusión de melaza en un material cocido, los mejores resultados corresponden a al adicionar 5% de melaza.

5.5. Mampuesto con melaza, CBCA y suelo.

Conocidos los resultados de las mezclas antes realizadas se procederá a seleccionar las proporciones de los materiales que conformaran el nuevo mampuesto.

La dosificación utilizada empieza con el porcentaje de una masa inicial, para la cual se efectuará un personaje del 99 % de dicha masa inicial para calcular la cantidad de el suelo, el 1 % restante será constituido por CBCA.

El agua se calcula en función de la cantidad de suelo obtenido anteriormente, pare este caso será el 27.10 % del peso en gramos de suelo, finalmente la melaza será calculada en función de la cantidad de agua obtenida antes de la manera que se muestra a continuación.

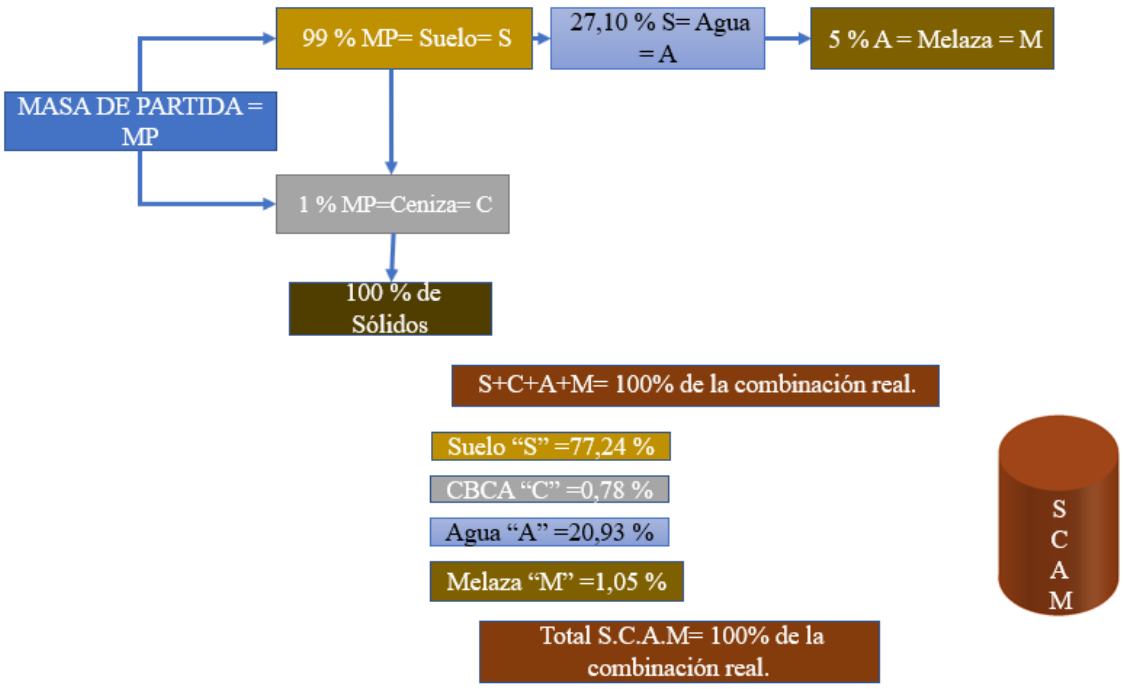


Figura 16. Porcentajes de material del mampuesto final.

Para realizar el mampuesto final se utilizaron las cantidades expuestas en la tabla 32 expresadas en gramos, porcentajes de mezcla de adición y porcentajes generales de la composición final.

Tabla 32.

Cantidades de material para el mampuesto final

	Porcentaje	**Gramos(g)**	**Porcentaje general de la composición del mampuesto**
Suelo	99 %	5940	77,24 %
Ceniza	1 %	60	0.78 %
Agua del suelo	27.1 %	1609.74	20.93 %
Melaza de la cantidad de agua	5 %	80.49	1.05 %
	Total, en gramos en masa	7690,23 g	100 %

El procedimiento realizado anteriormente con las probetas ensayadas no pudo ser completado puesto que las características mismas de la probeta después de haber terminado su proceso de cocción no fueron suficientes. Para los ensayos de compresión simple y tracción es necesario manipular la muestra al colocarla en de la máquina de ensayo universal, este procedimiento no pudo ser llevado a cabo ya que la cohesión entre las partículas del ladrillo fue extremadamente baja. Con respecto al ensayo de absorción se pudo observar que al sumergir las muestras las partículas se separaron de manera que no fue posible unirlas nuevamente perdiendo su forma por completo. Se evidencia la imposibilidad de emplear esta mezcla final en la elaboración de un ladrillo propiamente dicho.



Fotografía 23. Mampuesto final metodología 1.

6. Capítulo 6: Elaboración del mampuesto mediante el criterio de vibración controlada.

Se elaboró una metodología adicional a la expuesta anteriormente para realizar una comparación entre las dos metodologías para ello se contempla la base teórica fundamentada en la experimentación artesanal para la elaboración de ladrillos cocidos.

6.1. Fundamentación teórica del procedimiento

Cuando existen partículas suspendidas en un medio líquido, su comportamiento o reacomodo esta dado por el tamaño, densidad y forma de estas. La ley de Stockes se basa en el análisis de la sedimentación gravitacional de partículas en un fluido. Una suspensión de suelo dispersa se transfiere a un cilindro de sedimentación, se llena hasta un volumen definido, y se agita para obtener una distribución uniforme de partículas. Después de agitar, sacudir o girar el cilindro, el fluido se detiene y las partículas en la suspensión caen con una velocidad de sedimentación que está relacionada con su tamaño. Dependiendo de la distribución del tamaño de las partículas, su concentración en cualquier profundidad de la suspensión del material disminuye continuamente con el tiempo, porque las partículas sedimentadas más grandes que un tamaño determinado han pasado la profundidad (Andrés et al., 2018).

El principio descrito anteriormente es la base del ensayo utilizado para medir el tamaño de las partículas finas de suelo mediante el uso de un hidrómetro. En el proceso de mezcla de un líquido y partículas de suelo las partículas presentes tienden a recorrer espacios o reacomodarse en función de sus peso y forma en un tiempo específico determinado por las características antes mencionadas.

Muchas son las investigaciones que se han desarrollado para lograr una buena granulometría de agregados para concreto. La mayoría de estas investigaciones se basan en la capacidad de acomodamiento y compactación de las partículas dentro de un volumen dado, para lograr la máxima densidad y con esto la máxima resistencia (Sánchez, 2001).

Las investigaciones realizadas para dosificar un material en base a la granulometría fueron de ayuda para determinar el tamaño de las partículas del suelo para realizar el mampuesto ya que se consideró restringir la granulometría con el fin de generar un mejor reacomodo en función de su tamaño.

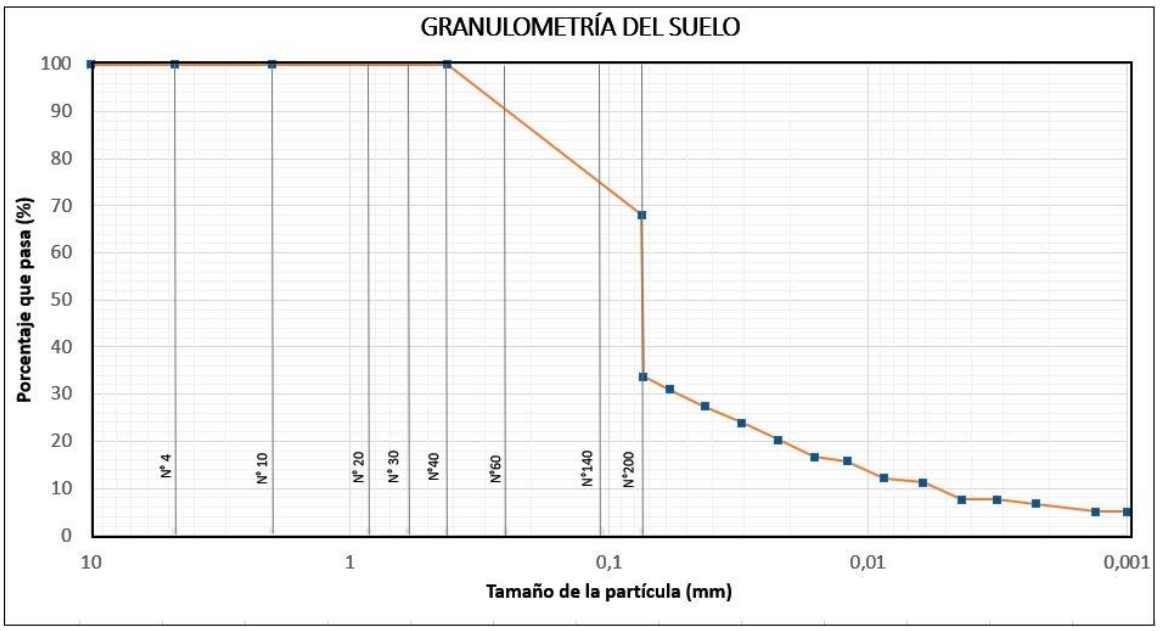


Gráfico 20. Granulometría del suelo desde el tamiz #40.

Dentro del proceso de fabricación de bloques y adoquines, el vibrado cumple un papel crucial ya que brinda al concreto características de suma importancia como, por ejemplo, compacidad, es decir aumenta la densidad del concreto disminuyendo el aire atrapado en su interior, impermeabilidad, resistencia mecánica, resistencia a la

abrasión, otorga un buen acabado superficial, facilita el desmolde (corso & Cuatín, 2011).

Los beneficios que brinda el proceso de vibrado a las mezclas en estado fresco de hormigón fueron aprovechados en el proceso de fabricación del mampuesto mediante la fabricación de un sistema de vibrado controlado, desarrollado a través de una maquina simple.

En base al Movimiento Armónico Simple (M.A.S) se puede expresar las características del desplazamiento de una partícula en el plano a través de una ecuación en función del tiempo, a continuación, se plantean los elementos de dicha ecuación y su comportamiento.

$Datos$

$T = 1S$

$A = 10cm$

$Velocidad\ angular$

$$w = \frac{2\pi}{T}$$

$$w = 2\pi\ \ rad/s$$

$Condiciones\ iniciales$

$$t = 0\ \begin{Bmatrix} x = 0 \\ t = 0 \end{Bmatrix}$$

$Ecuación\ de\ la\ posición$

$x = A \cdot sen(wt + \delta)$

Reemplazamos en la ecuacion los datos

$x = 10 \cdot sen(2\pi \cdot 0 + \delta)$

$\delta = 0$

$Quedando\ la\ formula$

$y = 10sen\ (2\pi x)$

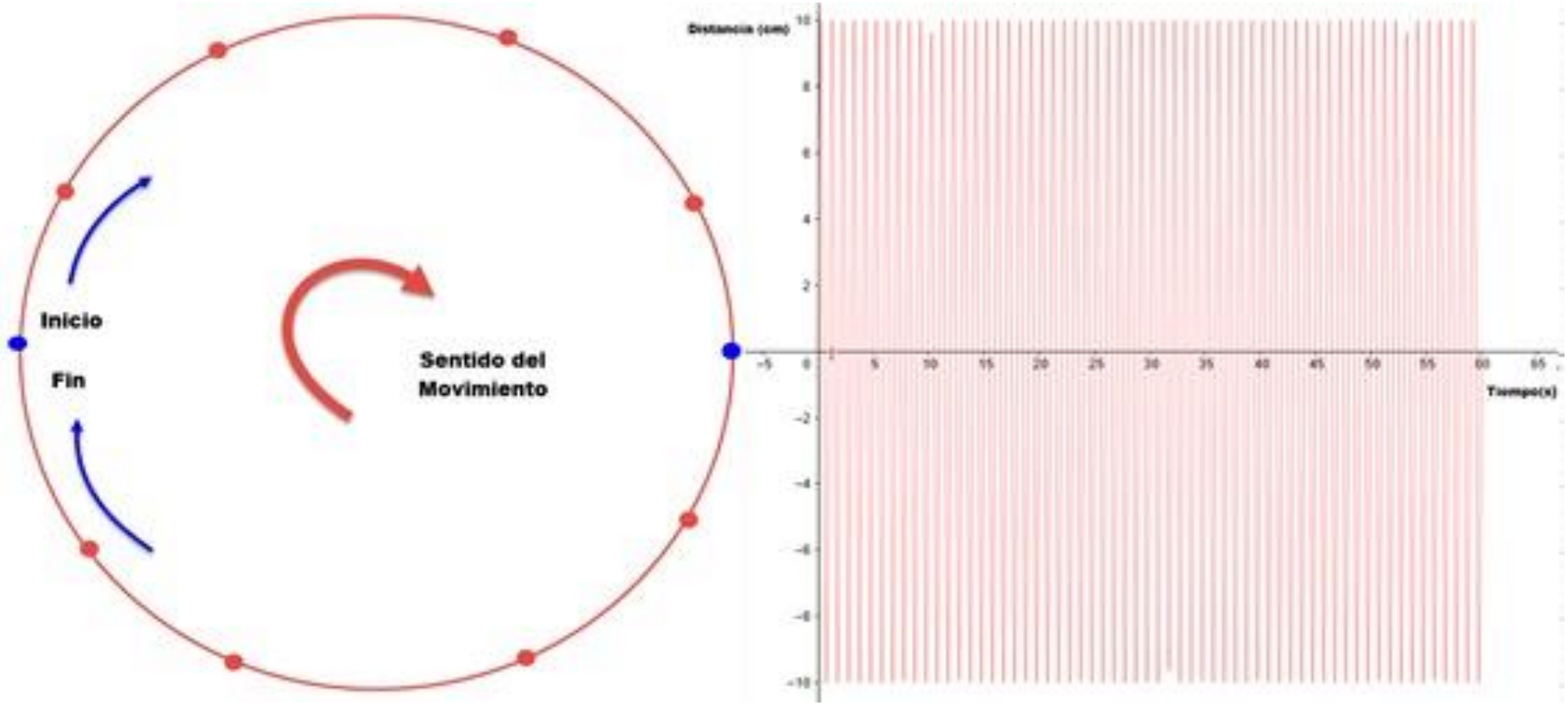


Gráfico 21. M.A.S de la máquina de vibración.

6.2. Preparación de materiales a emplearse

La preparación de los materiales: Suelo, CBCA y melaza que fueron empleados para este método fue la misma que se mencionó en la metodología anterior.

6.2.1. Agua

La cantidad de agua empleada para este método es determinante ya que se produce una suspensión de sólidos, la densidad del medio en el que se desarrolla el acomodamiento de partículas debe ser controlado ya que la variación de las características de este medio puede generar un comportamiento diferente de los sólidos en suspensión.

La densidad del agua varía en función de la temperatura ambiente, en este caso las condiciones en la que se desarrolló el ensayo fueron controladas de manera que la temperatura fue de 20° C, temperatura en la cual el agua se encuentra a una densidad de 1 g/cm3.



Fotografía 24. Densidad del agua.

6.3. Sistema de vibración controlada

Con el fin de mejorar tanto las características mecánicas (resistencia a la compresión simple y flexión) como también disminuir la cantidad de agua que puede absorber el material del ladrillo se fabricó una máquina que aplica una vibración controlada a la mezcla en estado fresco durante el proceso de fabricación de las muestras.



Fotografía 25. Sistema de vibración.

6.3.1. Fundamentación teórica del sistema de vibrado

Se ha elaborado un mecanismo que trasforma un movimiento circular en un movimiento de traslación lineal.

En la fotografía 26 se puede apreciar el rodamiento empleado para la fijación del movimiento lineal de la base movible, esta restricción se da en todos los sentidos excepto en el sentido horizontal ya que es en este sentido en el que se desarrolla la vibración propuesta.



Fotografía 26. Vista en planta del sistema de vibración.

En la fotografía 27 se pueden apreciar las fuerzas del sistema de vibración analizadas en dos dimensiones, el movimiento circular generado en la manivela se trasforma en dos reacciones que se transmiten hacia la barra de trasmisión de movimiento.



Fotografía 27. Vista lateral sistema de vibración.

6.3.2. Desarrollo de la máquina

6.3.2.1. Base

Las dimensiones de la base deben ser suficientes para que sea posible la manipulación y la absorción de la reacción producida por el movimiento que genera la fuerza aplicada en la manivela, es decir todas las partes deben estar colocadas en un mismo elemento. El espesor requerido debe ser suficiente para que pueda soportar el peso de los elementos de la máquina.



Fotografía 28. Base.

6.3.2.2. Rueda y manivela

Se ha seleccionado como sistema de rotación un disco metálico el cual esta soldado a una base circular empernada y este a su vez a la base de madera, para disminuir las fuerzas de fricción en el eje se colocó un rodamiento con rulimanes engrasados.



Fotografía 29. Rueda.

Para que el movimiento rotacional se genere de manera equilibrada se colocó una palanca (manivela) en el eje de rotación como se muestra a continuación en la fotografía 30.



Fotografía 30. Manivela.

6.3.2.3. Barra de transmisión de movimiento

La longitud de la barra de trasmisión ha sido determinada en función de la ubicación de la rueda, la amplitud del movimiento propuesto para la investigación como también para lograr una visibilidad adecuada para el correcto funcionamiento de la máquina. El espesor de la barra debe ser suficiente para poder soportar la fuerza ejercida en la misma sin que esta falle, de esta manera la barra transforma el movimiento de rotación producido por la rueda a un movimiento de traslación ejercido en la base movible.



Fotografía 31. Barra de transmisión de movimiento.

6.3.2.4. Base Movible

Se encuentra empotrada a dos rodamientos laterales tipo correderas, lo cual permite generar la amplitud necesaria en un movimiento plano reduciendo la fuerza de rozamiento. Sobre la base se ubican un molde el cual está sujeto por medio de un sistema de anclaje empernado a la base.



Fotografía 32. Base movible.

6.3.2.5. Soportes laterales

La estabilidad en un sistema de vibración controlado es fundamental puesto que pueden existir fuerzas adicionales no contempladas en el diseño introducidas por imperfecciones en la construcción o en el diseño de los elementos estructurales que la conforman.

Para que la base movible sea estable se colocaron soportes laterales arriostrados desde la parte superior hasta el centro de la base principal.



Fotografía 33.Soportes laterales.

6.3.3. Molde

La parte fundamental para el desarrollo de fabricación de ladrillos es el elemento modular que dará forma a el material, es necesario que este cumpla con dos condiciones fundamentales, en primer lugar, debe soportar la presión hidrostática sumada al empuje producido por el material en estado fresco mientras se efectúa el vibrado de manera que no se modifiquen sus características geométricas.

En segundo lugar, debe ser posible retirar el molde una vez que haya trascurrido el tiempo de secado determinado para cada muestra de manera que no se vean afectadas las superficies en contacto (Canto, Testa, Tabla).

6.3.3.1. Componentes del molde desarrollado

El molde diseñado para la elaboración del ladrillo consta de los siguientes componentes:

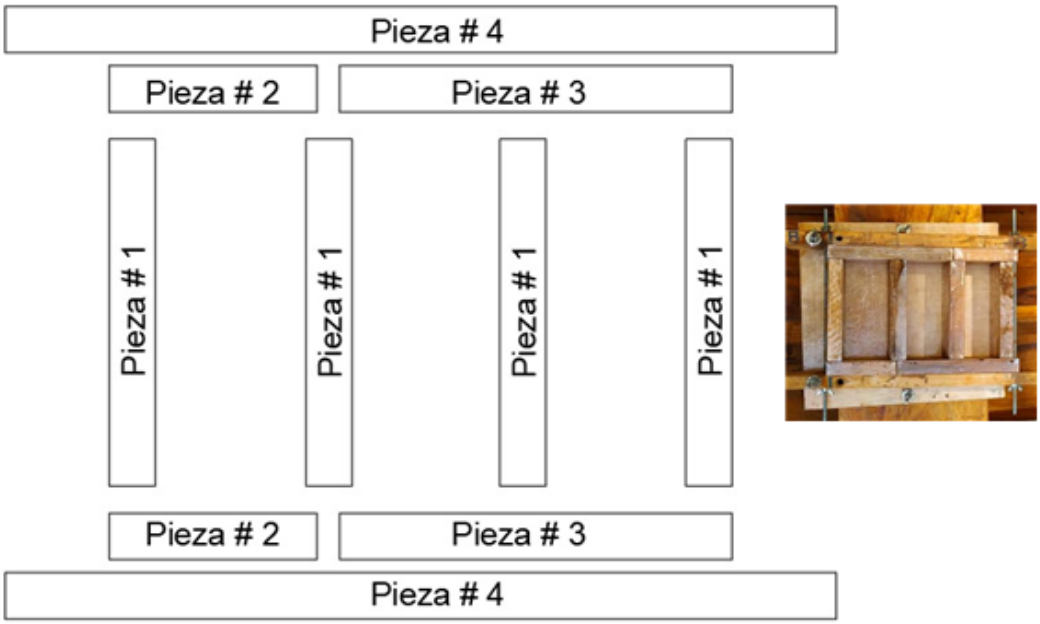
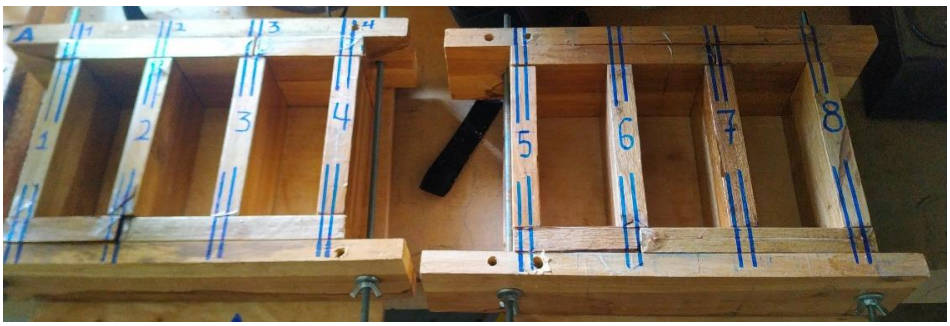


Figura 17. Esquema del molde con sus piezas

Para este proceso se utilizaron dos moldes de las mismas dimensiones con el fin de realizar varias mezclas de manera continua , fue necesaria la identificacion de cada pieza para agilitar el proceso de armado.



Fotografía 34. Moldes para la fabricación del mampuesto.

- **Pieza # 1**

Se realizó de madera al igual que todo el sistema, con una longitud de 15 cm, correspondiente a la soga del ladrillo mientras que su altura es de 7.5 cm correspondiente al grueso. Cuenta con un espesor de 2 cm lo cual es suficiente para evitar la deformación



Fotografía 35. Pieza #1.

- **Pieza # 2**

Esta pieza cumple la función de separar el lado del encofrado para evitar posibles daños al momento de desencofrar producto del deslizamiento. Sus dimensiones en altura y espesor son iguales a las demás piezas, la longitud de esta es 9 cm en total y de esto 6 cm correspondiente al tizón del mampuesto.



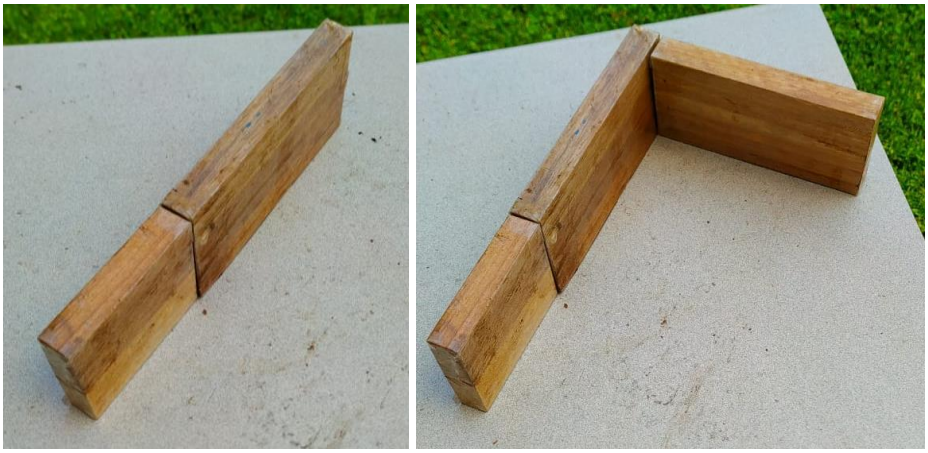
Fotografía 36. Pieza # 2.

- **Pieza # 3**

Esta pieza se emplaza de manera que está en contacto con dos ladrillos simultáneamente y a continuación de la pieza # 2, su longitud es de 17 cm.



Fotografía 37. Pieza #3.



Fotografía 38. Armado de piezas.

- **Pieza # 4**

Esta pieza se encarga de trasmitir la fuerza ejercida por los pernos colocados a los extremos hacia las piezas 2 y 3 y estas a su vez hacia la pieza # 1, generando un equilibro estático que impide el desplazamiento en todas las direcciones de cada una de las partes.



Fotografía 39. Pieza #4.

- **Base del encofrado**

Tanto su ancho como su longitud es de 30 cm, es totalmente plana y tiene un espesor de 1.2 cm.

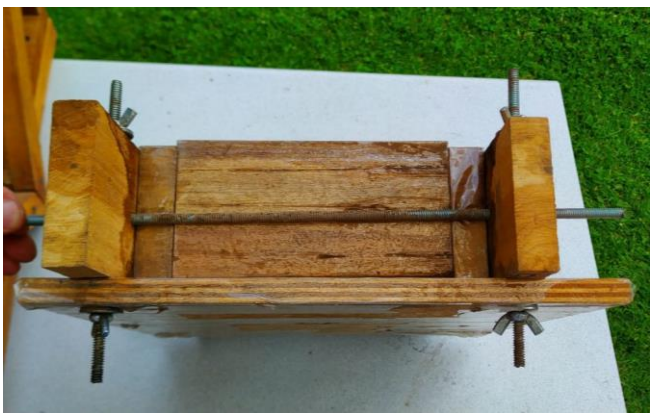


Fotografía 40. Base para asentar el molde.

- **Pernos de compresión**

Consta de una varilla roscada galvanizada de diámetro ¾ de pulgada y longitud de 35 cm que atraviesa la pieza # 4 y se ajusta por medio de una tuerca tipo mariposa colocada en conjunto con una arandela plana.





Fotografía 41. Pernos de compresión.

- **Pernos de ajuste entre el molde y la base**

Están dispuestas de manera que atraviesan transversalmente al molde y a la base, tiene una longitud de 15 cm con un diámetro de ¾ de pulgada y se ajusta de el mismo modo que el perno de compresión.



Fotografía 42. Pernos de ajuste entre el molde y la base.

- **Perno de ajuste al sistema de vibración**

Para que la adecuada transmisión del movimiento sea adecuada, la base del molde debe ser parte del mismo sistema de vibración por lo cual la unión entre la base movible y la base del encofrado debe ser la correcta. El perno que une los dos elementos es de longitud 10 cm con un diámetro de ¾ de pulgada y se ajusta de el mismo modo que el perno de compresión.



Fotografía 43. Pernos de ajuste al sistema de vibración.

6.3.3.2. Preparación del molde a utilizarse

El método tradicional específica que como previamente debe saturarse el molde con una mezcla de lodo con el propósito de evitar la posible deformación involuntaria del ladrillo durante el proceso de desencofrado.

Con el propósito de disminuir la fricción entre la superficie del molde y el material en cada una de las caras se ha decidido colocar una capa plástica en cada una de las piezas del encofrado que están en contacto directo con el material, así como también en la base.

6.3.3.3. Armado

Es necesario tomar en consideración varios aspectos para el correcto armado y funcionamiento del molde. Una vez que los orificios para el anclaje hayan sido realizados y la capa plástica se encuentre colocada de manera adecuada en las piezas que se requiera se procede a armar el molde.

Se colocan sobre la base 4 piezas # 1 equidistantes a 6 cm y alineadas entre sí, a continuación, se sitúan las piezas #2 y #3 perpendicularmente al eje longitudinal de las piezas # 1 de manera que cierren el envolvente en el cual se emplazara la mezcla en estado fresco

Dos piezas # 4 están unidas a través varillas roscadas ubicadas a una distancia de 30 cm entre sí, se colocan las arandelas con su respectiva tureca tipo mariposa en cada uno de los 4 extremos de la varilla roscada. Finalmente se sitúa las piezas 4 unidas con su respectivo sistema de anclaje sobre la base donde encuentran las piezas 1, 2 y 3 para luego ajustar el sistema de anclaje por compresión hasta que exista equilibrio estático en el sistema.



Fotografía 44. Elementos para armar el molde para los ladrillos.

6.3.4. Funcionamiento

Se coloca el encofrado sobre la base movible y se ajusta por medio de una varilla roscada y dos arandelas planas unidas a dos tuercas tipo mariposa.

El movimiento se genera mediante la rotación manual del disco a través del eje por medio de la manivela. Un perno de 12 mm de diámetro se encuentra situado a 5

centímetros del eje de giro el cual atraviesa el espesor del disco de madera y también la barra de transmisión de movimiento de manera que se trasmiten las fuerzas producidas por el giro hacia la barra.

En el extremo opuesto de la barra se trasfieren las fuerzas mediante un perno conectado a la misma que su vez está unido a la base movible generando así el movimiento de traslación lineal deseado a una amplitud de 10 cm, puesto que la altura del eje de rotación del disco es la misma a la que se encuentran emplazados los rodamientos de la base movible.

6.4. Desarrollo del método 2

Para determinar las proporciones ideales para la elaboración del mampuesto por el método de vibrado se realizaron las siguientes combinaciones

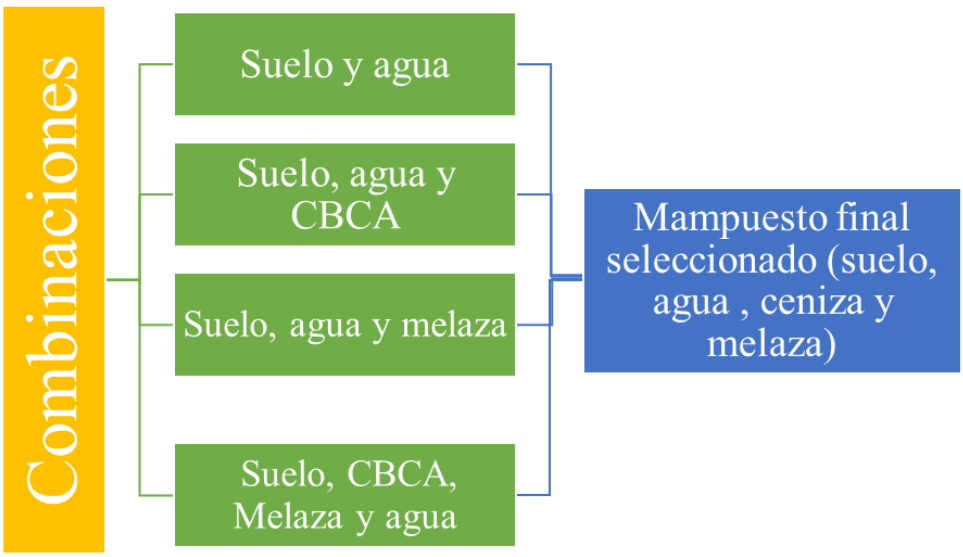


Figura 18. Combinaciones del Método 2.

Considerando la fundamentación teórica desarrollada en este capítulo a continuación se presenta el procedimiento a seguir para la elaboración del mampuesto.

El mampuesto realizado en el molde tiene las siguientes dimensiones:

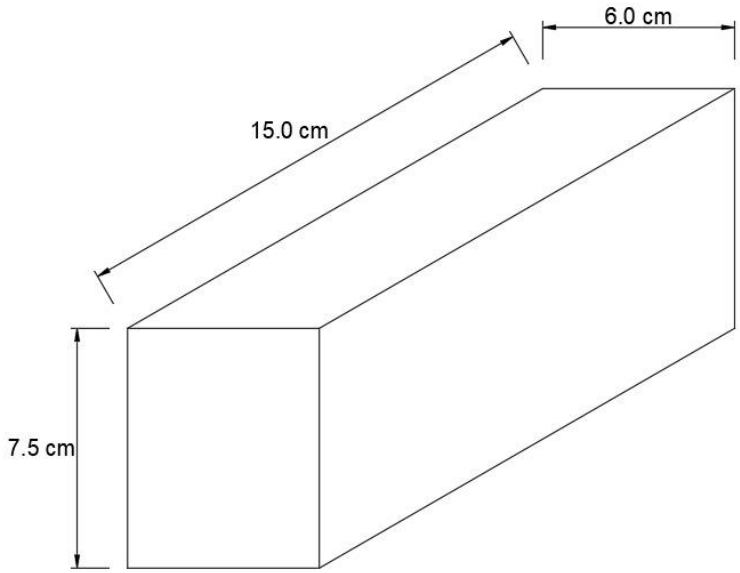


Figura 19. Dimensiones del mampuesto desarrollado.

6.4.1. Mezcla

6.4.1.1. Suelo y Agua

Se realizó esta mezcla principalmente con el fin de conocer el comportamiento del suelo cuando se adiciona diversas cantidades de agua superiores a la de la humedad óptima obtenida en el ensayo de Proctor Estándar en el capítulo 5 de la presente investigación. Para ello se agregó agua considerando la consistencia como parámetro principal, los porcentajes analizados fueron 30%, 31, %32%, 33% de la masa total.

6.4.1.2. Ceniza, suelo y Agua

Con el fin de determinar el porcentaje de ceniza adicionado en la mezcla de suelo y ceniza, se consideró la masa total de suelo inicial para lo cual se establecieron porcentajes en 1 %, 3% y 5%. Se realiza la mezcla en una superficie limpia antes que los sólidos alcancen su equilibrio higroscópico facilitando homogeneizar el material, con el fin de lograr una adecuada combinación se agregó el agua de mezcla una vez que los materiales fueron mezclados en seco por completo. Realizado el procedimiento anterior se dejó la masa total obtenida por un tiempo de 24 horas en una funda plástica para que el agua se distribuya uniformemente en toda la mezcla.

Tabla 33.

Porcentajes de mezcla con CBCA

	Porcentaje de Suelo	**Porcentaje de CBCA**	**Total**
Mezcla 1	99%	1%	100%
Mezcla 2	97%	3%	100%
Mezcla 3	95%	5%	100%

6.4.1.3. Melaza, suelo y Agua.

La cantidad de melaza empleada para la mezcla se estableció como porcentaje de la masa inicial propuesta 2 % , 4 % y 6% .La melaza fue disuelta en una cantidad de agua establecida a partir de la humedad óptima obtenida en el ensayo Proctor estándar del suelo, el porcentaje final agregado fue distinto para cada combinación realizada tomando en cuenta como parámetro principal la consistencia necesaria para adoptar el volumen del encofrado por completo , a continuación se procedió del mismo modo que la mezcla anterior.



Fotografía 45. Mezcla de Suelo, Agua y Melaza.

Tabla 34.

Porcentaje de Mezcla con Melaza

	Porcentaje de Suelo	**Porcentaje de Melaza**	**Total**
Mezcla 1	98%	2%	100%
Mezcla 2	96%	4%	100%
Mezcla 3	94%	6%	100%

6.4.1.4. Suelo, CBCA, Melaza y Agua

Para esta metodología se ha propuesto ejecutar variaciones de porcentajes en función de 4 componentes simultáneamente.

Tabla 35.

Mezclas realizadas con Agua, CBCA y Melaza

	Porcentaje de Suelo	**Porcentaje de CBCA**	**Porcentaje de Suelo-CBCA-Melaza**	**Total**
Mezcla 1	97%	1%	2%	100%
Mezcla 2	95%	3%	2%	100%
Mezcla 3	93%	5%	2%	100%
Mezcla 4	95%	1%	4%	100%
Mezcla 5	93%	3%	4%	100%
Mezcla 6	91%	5%	4%	100%
Mezcla 7	93%	1%	6%	100%
Mezcla 8	91%	3%	6%	100%
Mezcla 9	89%	5%	6%	100%

La cantidad de agua establecida para las variaciones presentadas no permanece constante, inicialmente se estableció como punto de partida la humedad óptima para una densidad máxima especifica únicamente con suelo y agua, posteriormente se obtuvieron resultados adecuados con un porcentaje de agua de 31 %, el cual sirvió como referencia para seleccionar la cantidad de agua en cada uno de los casos.

6.4.2. Colocación y vibrado de la mezcla en estado fresco

Una vez que el estado de la mezcla es el adecuado, esta se coloca en cada uno de los moldes anclados a la mesa movible del sistema de vibración hasta llegar a un tercio de su volumen total. El sistema debe estar calibrado a una amplitud específica de 10 cm para lo cual será necesario nivelar la barra de transmisión de movimiento antes de empezar el vibrado.



Fotografía 46. Llenado de la mezcla en los moldes.

. Durante el vibrado es necesario tomar el tiempo en el que se realizan las oscilaciones deben completarse 60 oscilaciones en 60 segundos. Este procedimiento se repite hasta completar los dos tercios faltantes para completar el encofrado. Cuando todos los módulos del encofrado están completos se procede a enrasarlos.



Fotografía 47. Muestras enrasadas.

Es necesario que la humedad de las muestras disminuya lentamente en consecuencia a continuación debe trascurrir un tiempo de secado al aire en el encofrado de 48 horas.

6.4.3. Desencofrado de las muestras

Pasadas las 48 horas se retira el molde de la base movible para colocarlo en una superficie plana, posteriormente se afloja el sistema de anclaje a compresión con el fin de que pueda ser retirado evitando que se muevan las piezas internas. Es indispensable remover las piezas de manera cuidadosa evitando deformar las muestras de los mampuestos. Debe trascurrir un tiempo de 96 horas adicionales sin encofrado, tiempo en el cual la humedad disminuirá aún más.



Fotografía 48. Secado al aire de los mampuestos.

6.4.4. Cocción

Para lograr una temperatura de cocción adecuada es necesario utilizar un horno con la capacidad de alcanzar y mantener el calor de forma que las muestras puedan absorber la energía de manera uniforme durante un tiempo determinado, para ello se utilizó la Mufla.



Fotografía 49. Mampuestos en la mufla antes de la cocción.

Trascurridas 144 horas a partir del vibrado, se introduce las muestras en la Mufla en el sentido de su mayor inercia y se programa el horno a una temperatura de 900 °C. Trascurridas las dos primeras horas de cocción el horno alcanza la temperatura programada; el tiempo durante el cual las probetas están a 900 grados centígrados es de 6 horas, una vez apagada la mufla trascurren 18 horas antes de sacarlas del horno tiempo en el cual absorbe la energía residual existente en la mufla.



Fotografía 50. Mampuestos salidos de la mufla.

El incremento de la temperatura del horno se desarrolla exactamente en las mismas condiciones que se desarrolló en el método anterior.

6.4.5. Ensayos realizados en el ladrillo

Trascurrido el tiempo total de cocción se extraen las muestras de la Mufla y se colocan en un ambiente de temperatura controlada para posteriormente ensayarlas.

Para la determinación de la absorción del ladrillo cocido se considera la norma NTE INEN 296 Ladrillos cerámicos, determinación de absorción de humedad y la norma ASTM C67/C67M – 19: Standard Test Methods for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile (American Society for Testing and Materials, 2019).

Mientras que para obtener la resistencia a la compresión la norma NTE INEN 0294 Ladrillos cerámicos, determinación de la Resistencia a la compression y la norma ASTM C67/C67M – 19: Standard Test Methods for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile (American Society for Testing and Materials)

6.4.5.1. Suelo y Agua

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de cada mezcla utilizando la combinación suelo-Agua, se establecen los resultados tabulados en tablas los cuales posteriormente se representan mediante un gráfico para cada uno de los casos. Los datos tabulados son de los ensayos resistencia a la compresión y absorción.

ENSAYO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Tabla 36.

Datos ensayo Resistencia a la compresión de suelo

Porcentaje de variación	Muestra	Carga máxima de rotura (N)	Área (mm2)	Resistencia a la compresión (Mpa)
30% de agua	A	34425,10	8830,04	3,90
31% de agua	B	39040,03	8808,72	4,43
32% de agua	C	23442,38	8784,48	2,67
33% de agua	D	18756,40	8780,21	2,14

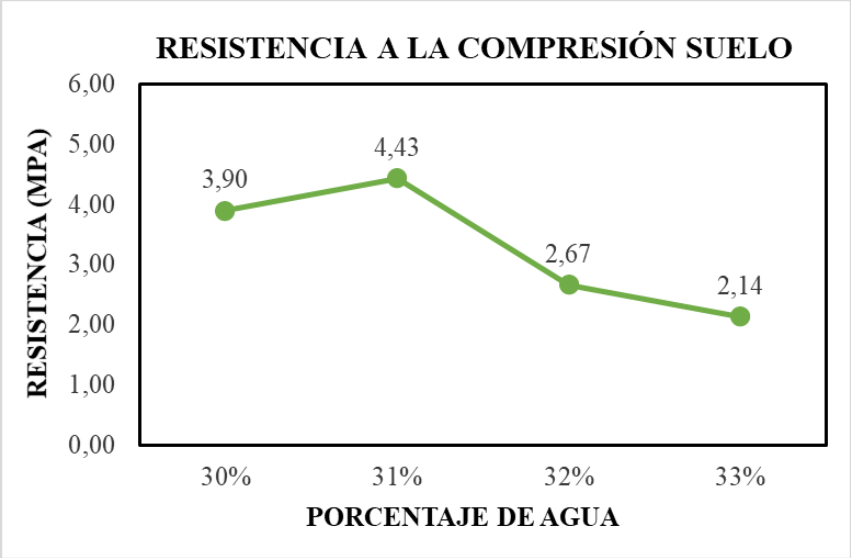


Gráfico 22. Resistencia a la compresión suelo.

En el gráfico 22, se puede observar la variación de la resistencia en función del porcentaje de agua considerado, el mejor comportamiento del material a la resistencia a la compresión simple se estableció en 31 % de la cantidad de agua con referencia a la masa inicial.

ENSAYO DE ABSORCIÓN

Tabla 37.

Datos ensayo de Absorción de suelo natural

Muestra	% de Agua	ABSORCION LADRILLO
A	30%	26,15%
B	31%	27,27%
C	32%	29,34%
D	33%	31,38%

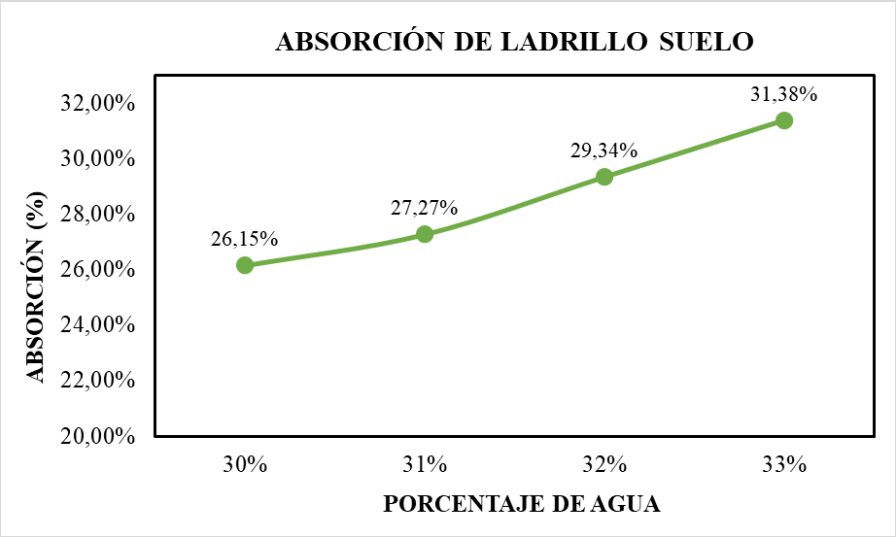


Gráfico 23. Absorción suelo.

En la gráfica se puede observar la variación de la absorción en función del porcentaje de agua considerado, el mejor comportamiento del material en absorción se estableció en 30% de la cantidad de agua con referencia a la masa inicial antes de la cocción.

6.4.5.2. Suelo, CBCA y agua

Se muestran los resultados obtenidos para cada mezcla utilizando la combinación suelo-Agua-CBCA, en primer lugar, se establecen los resultados tabulados en los

ensayos resistencia a la compresión y absorción los cuales posteriormente se representan mediante un gráfico.

ENSAYO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Tabla 38.

Datos ensayo Resistencia a la compresión de suelo y CBCA

Porcentaje de variación	Muestra	Carga máxima de rotura (N)	Área (mm2)	Resistencia a la compresión (Mpa)
1%	C1	30968,98	9191,98	3,37
3%	C3	15658,73	9247,29	1,69
5%	C6	14123,26	8975,17	1,57

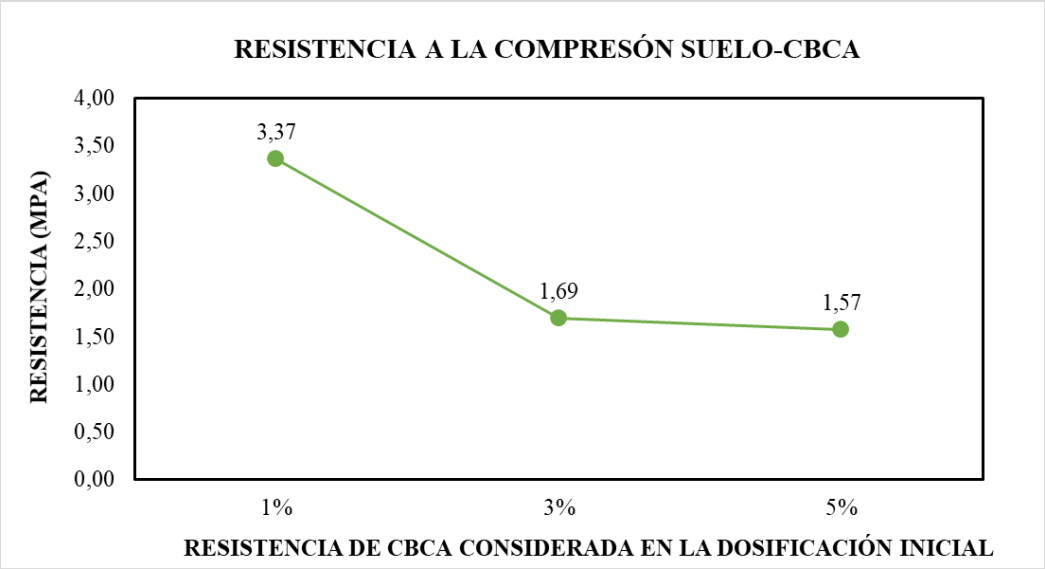


Gráfico 24. Resistencia a la compresión suelo-CBCA.

Se muestra una variación significativa entre el 1% y el 3%, a partir de este punto se mantiene una reducción de resistencia aparentemente estable con respecto a el incremento a partir del 5 % de ceniza. El valor más favorable para este caso en

particular se encuentra en el 1 % de ceniza el cual corresponde al 3.37 mega pascales en resistencia la compresión.

ENSAYO DE ABSORCIÓN

Tabla 39.

Datos ensayo de Absorción de suelo y CBCA

Muestra	% de Melaza	Absorción ladrillo
C1	1%	30,2%
C3	3%	30,3%
C5	5%	32,1%

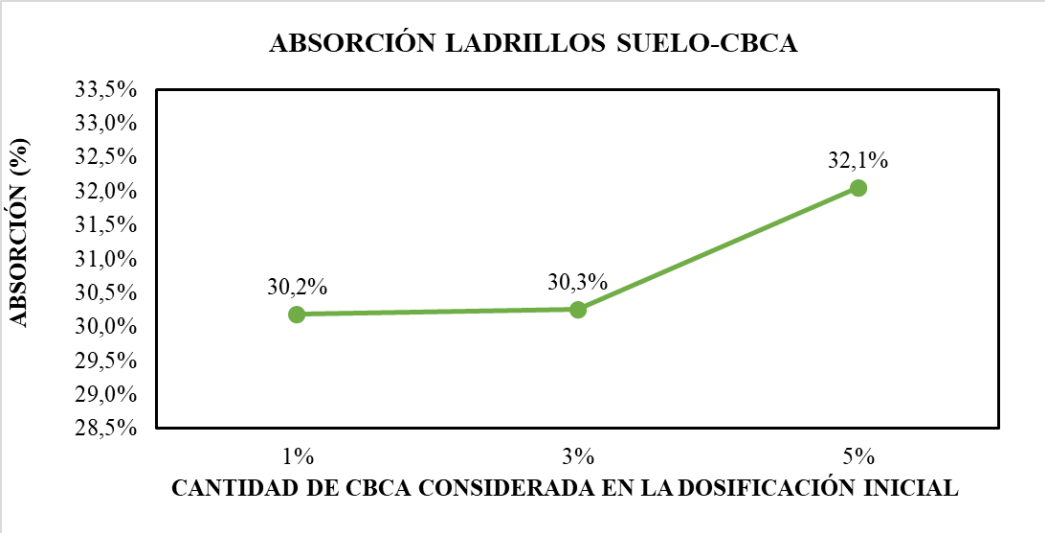


Gráfico 25. Absorción de suelo-CBCA.

En el grafico 25 se evidencia a la afectación que existe al introducir ceniza en la mezcla, dando como resultado un incremento en la absorción directamente proporcional al aumento de la cantidad de ceniza en la mezcla. El resultado más adecuado se muestra al mezclar el 1 % de la ceniza con una absorción del 30.2 %.

6.4.5.3. Suelo, Melaza y agua

Se muestran los resultados obtenidos para cada mezcla utilizando la combinación suelo-Agua-Melaza, los cuales se representan por una tabla y un gráfico de los ensayos realizados en los cuales se puede observar el comportamiento del material.

ENSAYO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Tabla 40.

Datos ensayo Resistencia a la compresión de suelo y Melaza

Porcentaje de variación	Muestra	Carga máxima de rotura (N)	Área (mm2)	Resistencia a la compresión (Mpa)
2%	M2	35222,15	8594,340333	4,10
4%	M4	10733,29	9306,398267	1,16
6%	M6	9161,49	6641,783333	0,72

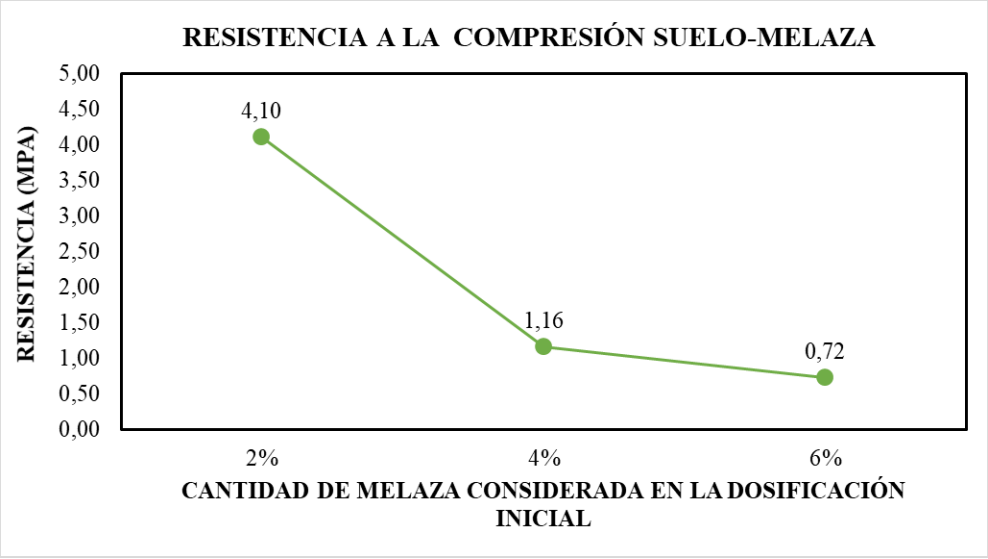


Gráfico 26. Resistencia a la compresión suelo- melaza.

Para el 2 % de melaza se obtuvo una resistencia de 4.10 MPa, al duplicar la cantidad de melaza añadida la resistencia disminuye aproximadamente a la cuarta parte de su

valor. En el intervalo comprendido entre el 4% y el 6 % de melaza añadida se presenta una reducción de la resistencia a la compresión, el cual a diferencia del tramo anterior tiene una tasa de decremento menor.

ENSAYO DE ABSORCIÓN

Tabla 41.

Datos ensayo de Absorción de suelo y Melaza

Muestra	% de Melaza	Absorción ladrillo
M2	2%	26,5%
M4	4%	31,5%
M6	6%	33,3%

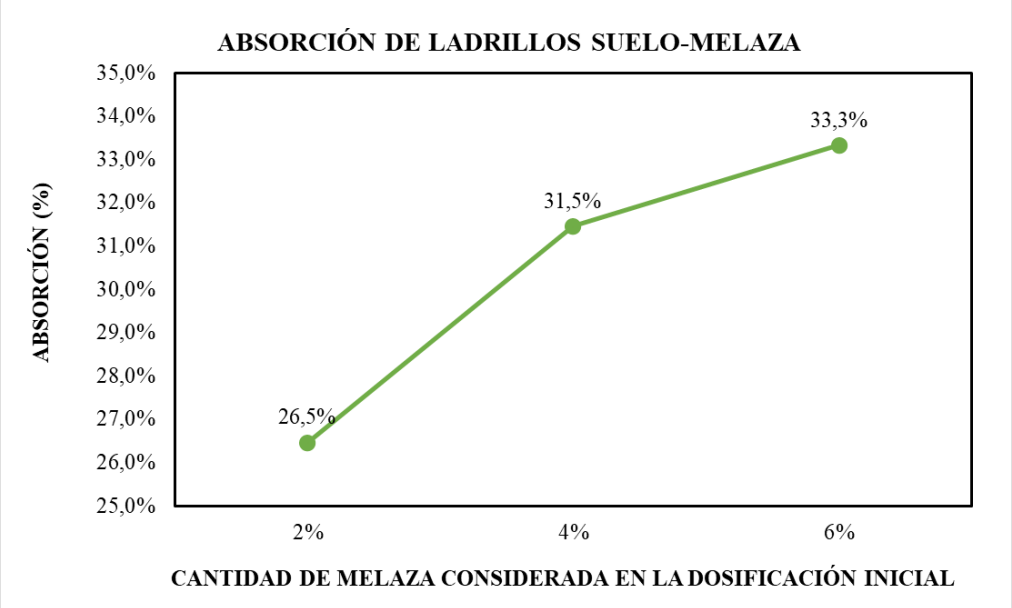


Gráfico 27. Absorción suelo-melaza.

En el grafico 27 se puede observar que, al aumentar la cantidad de melaza en las mezclas, la capacidad de absorción de las muestras incrementa significativamente, lo cual es altamente perjudicial para la elaboración de mampuestos.

6.4.5.4. Suelo, CBCA, Melaza y Agua

Para esta combinación de los 4 elementos se realizaron todas estas mezclas:

Tabla 42.

Mezclas realizadas con Agua, CBCA y Melaza

MEZCLA	IDENTIFICACION
2%M 1%C 97%S	TA
2%M 3%C 95%S	TB
2%M 5%C 93%S	TC
4%M 1%C 95%S	TD
4%M 3%C 93%S	TE
4%M 5%C 91%S	TF
6%M 1%C 93% S	TH
6%M 3%C 91%S	TK
6%M 5%C 89%S	TL

Se muestran los resultados obtenidos de las 9 mezclas que se realizaron utilizando los 4 elementos desarrollados en esta investigación, se establecen los resultados tabulados en los ensayos resistencia a la compresión y absorción de cada uno de ellos los cuales posteriormente se representan mediante un gráfico.

ENSAYO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Tabla 43.

Datos ensayo Resistencia a la compresión de suelo, CBCA y Melaza

Porcentaje de variación	Muestra	Carga máxima de rotura (N)	Área (mm2)	Resistencia a la compresión (Mpa)
2%M 1%C 97%S	TA	10087,18	8716,56	1,16
2%M 3%C 95%S	TB	6640,73	8713,30	0,76
2%M 5%C 93%S	TC	4787,19	8855,38	0,54
4%M 1%C 95%S	TD	5912,43	8815,48	0,67

4%M 3%C 93%S	TE	4886,87	8812,69	0,55
4%M 5%C 91%S	TF	11976,63	8832,32	1,36
6%M 1%C 93% S	TH	13956,19	8919,52	1,56
6%M 3%C 91%S	TK	14638,31	8948,38	1,64
6%M 5%C 89%S	TL	13170,60	9059,18	1,45

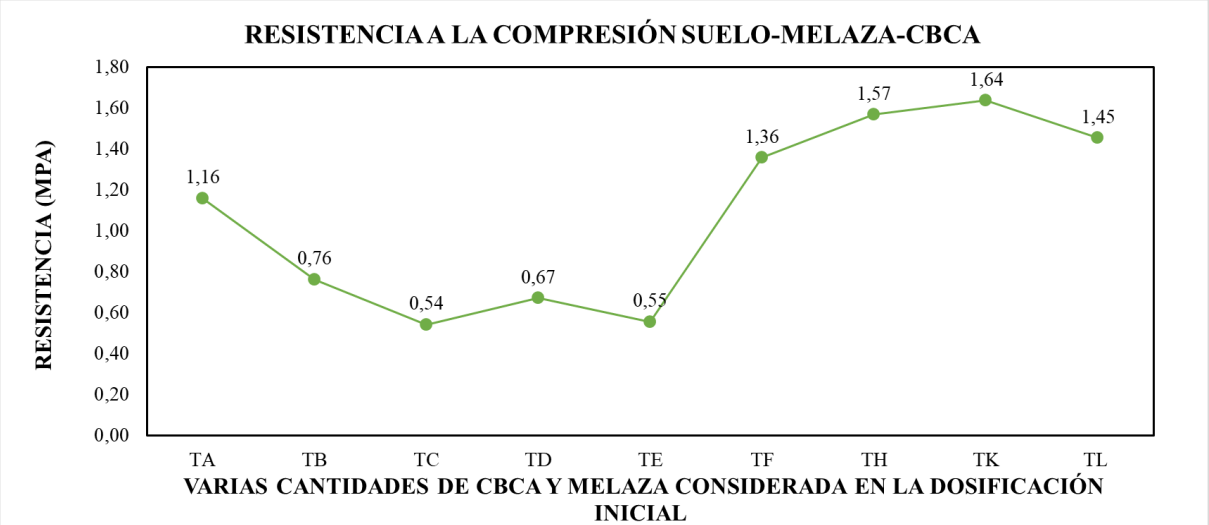


Gráfico 28. Resistencia a la compresión suelo-Melaza-CBCA.

ENSAYO DE ABSORCIÓN

Tabla 44.

Datos ensayo de Absorción de suelo, CBCA y Melaza

MEZCLA	Muestra	PORCENTAJE DE ABSORCION
2%M 1%C 97%S	TA	31,9%
2%M 3%C 95%S	TB	35,0%
2%M 5%C 93%S	TC	36,6%
4%M 1%C 95%S	TD	33,9%
4%M 3%C 93%S	TE	31,9%
4%M 5%C 91%S	TF	31,5%
6%M 1%C 93% S	TH	31,4%
6%M 3%C 91%S	TK	30,9%

6%M 5%C 89%S	TL	31,8%

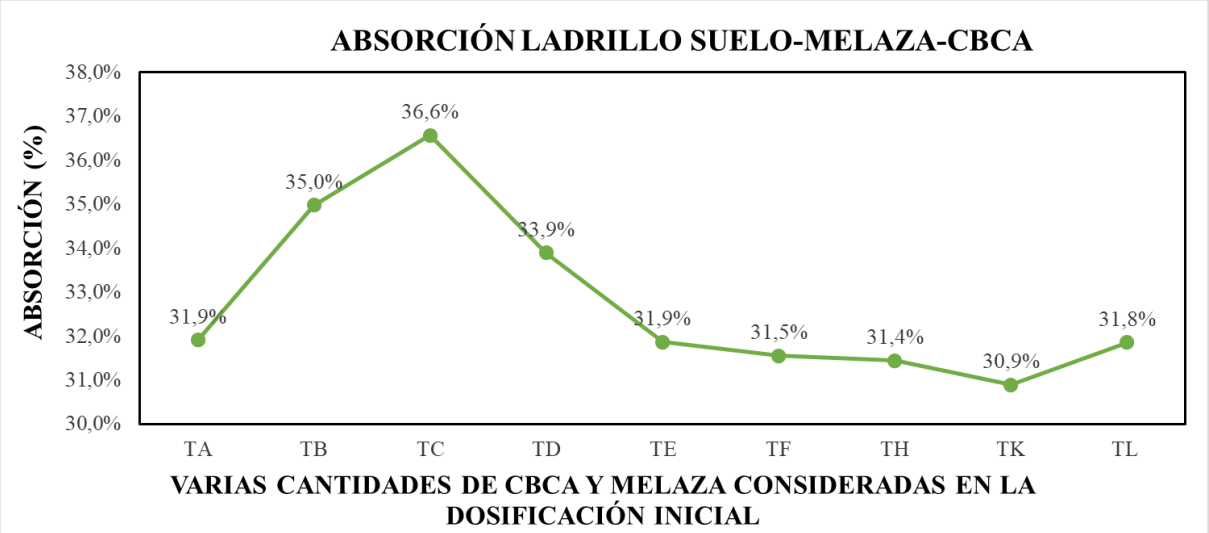


Gráfico 29.Absorción Suelo-Melaza- CBCA.

6.5. Mampuesto final

Realizadas las 9 mezclas se obtuvieron resultados en resistencia a la compresión (gráfico 28) y absorción (grafico 29), los mejores resultados se obtuvieron con la mezcla de: TK la cual contine 6% melaza 3 % CBCA 91% suelo.





Fotografía 51. Mampuesto final después de la cocción.

Para la combinación seleccionada TK se volvieron a realizar ensayos de Resistencia a la compresión, Absorción, Resistencia a la flexión.

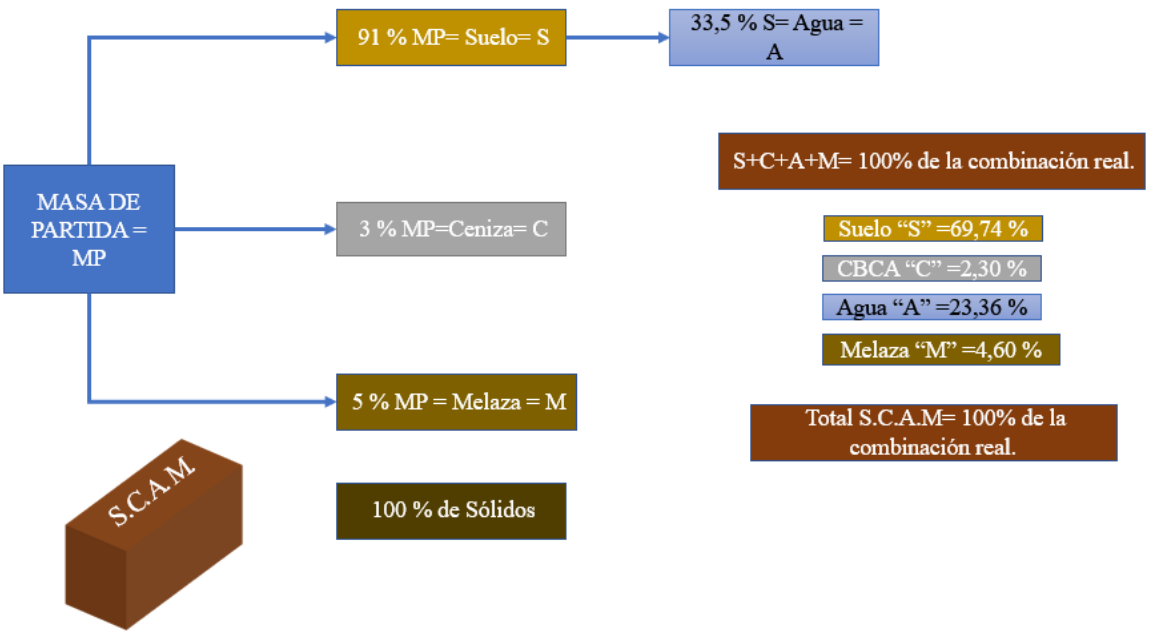


Figura 20. Porcentajes de los materiales para el mampuesto final.

Para esta combinación seleccionada las proporciones empleadas fueron de Suelo= 69.74, ABCA= 2.30 %, Agua=23.36 % Melaza=4.60 %, las proporciones iniciales a mezclase se realizaron en base a una masa de partida MP como se trató previamente en el presente capítulo.

ENSAYO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Tabla 45

Resultado Resistencia a la compresión mampuesto final.

Muestra	Carga máxima de rotura (N)	Área (mm2)	Resistencia a la compresión (Mpa)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (MPA)
TM4	14430,75	9123,24	1,58	**1,66**
TM5	15132,42	8807,09	1,72	
TM6	14532,77	8603,69	1,69	

ENSAYO DE ABSORCIÓN

Tabla 46.

Resultado Absorción mampuesto final

Muestra	P2	P1	Absorción	ABSORCION
TM1	1085,20	829,50	30,8%	**30,8%**
TM2	1094,40	837,73	30,6%	
TM3	1069,10	816,20	31,0%	

ENSAYO RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

El procediemiento descrito en esta norma se basa en la aplicación de una carga progresiva de flexion a una muestra de ladrillos, hasta determinar su resistencia

maxima admisible. Por esta razón, los ensayos de flexión se utilizan para evaluar la reacción de los materiales ante situaciones de carga realistas (Técnica, 1977).

Se coloca el ladrillo con su cara mayor sobre los apoyos, asegurando una separacion; se hace descender la pieza superior hasta que obtiene un contacto directo con la superficie en el centro de luz. Las tres lineas de contacto se mantienen paralelas y se aplica la carga hasta la rotura.

Las normas utilizadas para realizar este ensayo son : INEN 295 Ladrillo cerámicos. Determinación de la Resistencia a la flexión y ASTM C67/C67M – 19: *Standard Test Methods for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile* (American Society for Testing and Materials, 2019).

La resistencia a la flexión se calcula con la siguiente expresión:

$$S = \frac{3W\left(\frac{l}{2} - x\right)}{bd^2}$$

Ecuación 8. Resistencia a la flexión.

Donde:

$S = Modulo\ de\ rotura\ del\ especimen\ en\ el\ plano\ de\ falla\ (Mpa)$.

$W = Carga\ maxima\ indicada\ por\ la\ maquina\ de\ ensayo\ (N)$.

$l = Distancia$ entre apoyos, vano (mm)

$b = Ancho\ neto\ del\ especimen\ en\ el\ plano\ de\ falla\ (mm)$.

$d = Altura\ del\ especimen\ en\ el\ plano\ de\ falla\ (mm)$.

$x = Distancia\ promedio\ desde\ la\ mitad\ del\ vano\ hasta\ el\ plano\ de\ falla$

Tabla 47.

Resultado Resistencia a la flexión mampuesto final

Muestra	Vano (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)	Distancia x (mm)	Carga Máxima (N)	Módulo de rotura (Mpa)	MÓDULO DE ROTURA (MPA)
TM7	127,37	57,93	63,78	2,02	379,00	0,30	**0,34**
TM9	129,16	59,73	61,75	2,45	400,57	0,33	
TM10	128,72	58,61	62,56	2,9	474,26	0,38	

Densidad Aparente del ladrillo mediante el método de la parafina comparando las dos metodologías

Conocer las propiedades físicas de un suelo, proporciona una herramienta para tomar decisiones en el manejo de este. Dentro de las propiedades físicas, la densidad aparente resulta muy útil en el conocimiento del suelo y con su determinación se pueden inducir diferentes problemas que pueden impedir o disminuir el buen desarrollo, como por ejemplo una densidad aparente alta (>2), nos puede indicar la compactación de un suelo o la existencia de una capa dura.

Para realizar el ensayo de la densidad mediante la parafina se tomó de guía la norma ASTM D4531-86 “Standard Test Methods for Bulk Density of Peat and Peat Products”.

Método 1: Proctor Estándar

Tabla 48.

Densidad Aparente Metodología 1

Muestra	W seco (gr)	W con Parafina (gr)	W sumergido (gr)	Wp (gr)	Vp (cm)	Vm (cm3)	γm (gr/cm3)	γprom
1	775,97	1033,22	243,72	257,25	285,83	503,67	1,54	**1,54**
2	868,43	1087,42	268,53	218,99	243,32	575,57	1,51	
3	776,14	1065,86	251,85	289,72	321,91	492,10	1,58	



Fotografía 52. Ensayo de la parafina en la metodología 1.

Método 2: Vibración controlada

Tabla 49.

Densidad Aparente Metodología 2

Muestra	Peso seco (Wm gr)	Peso con Parafina (Wmp gr)	Peso sumergido (Wmp sum gr)	Wp (gr)	Vp (cm)	Vm (cm3)	γm (gr/cm3)	γprom
1	257,95	318,38	74,25	60,43	67,144	176,99	1,46	**1,37**
2	249,74	297,92	57,2	48,18	53,533	187,19	1,33	
3	266,84	309,97	68,95	43,13	47,922	193,10	1,38	
4	285,47	335,58	64,56	50,11	55,678	215,34	1,33	



Fotografía 53. Ensayo de la parafina metodología 2.

7. Capítulo 7: Estimación del costo de producción del ladrillo.

Los proyectos de inversión surgen de las diferentes necesidades individuales y colectivas de las personas y se concretan con la producción de un bien o servicio, ya que son éstas las que deben ser satisfechas, a través de una adecuada asignación de recursos teniendo en cuenta la realidad social, cultural y política de una comunidad (Meza, 2013).

Se presenta a continuación un análisis de costos referentes a un proyecto de producción masiva de ladrillos cocidos considerado las siguientes características:

La fábrica de ladrillos estará ubicada en la parroquia Conocoto del distrito metropolitano de ya corresponden a el mes de enero del año 2022., según las especificaciones se obtiene una producción diaria de 13000 mampuestos, en la inversión inicial no se ha tomado en cuenta la adquisición de instalaciones ni equipos, a pesar de ello se considera el arrendamiento como un costo mensual, se ha realizado el análisis de costos considerando la legislación ecuatoriana vigente. Los precios de la ceniza y la melaza han sido obtenidos directamente del Ingenio Azucarero del Norte.

7.1. Línea de producción

Se propone una línea de producción desarrollada en base al procedimiento aplicado en laboratorio por el método de vibración controlada. El horno seleccionado fue desarrollado por (Sacoto, 2013) ya que este presenta características adecuadas para la elaboración del mampuesto.

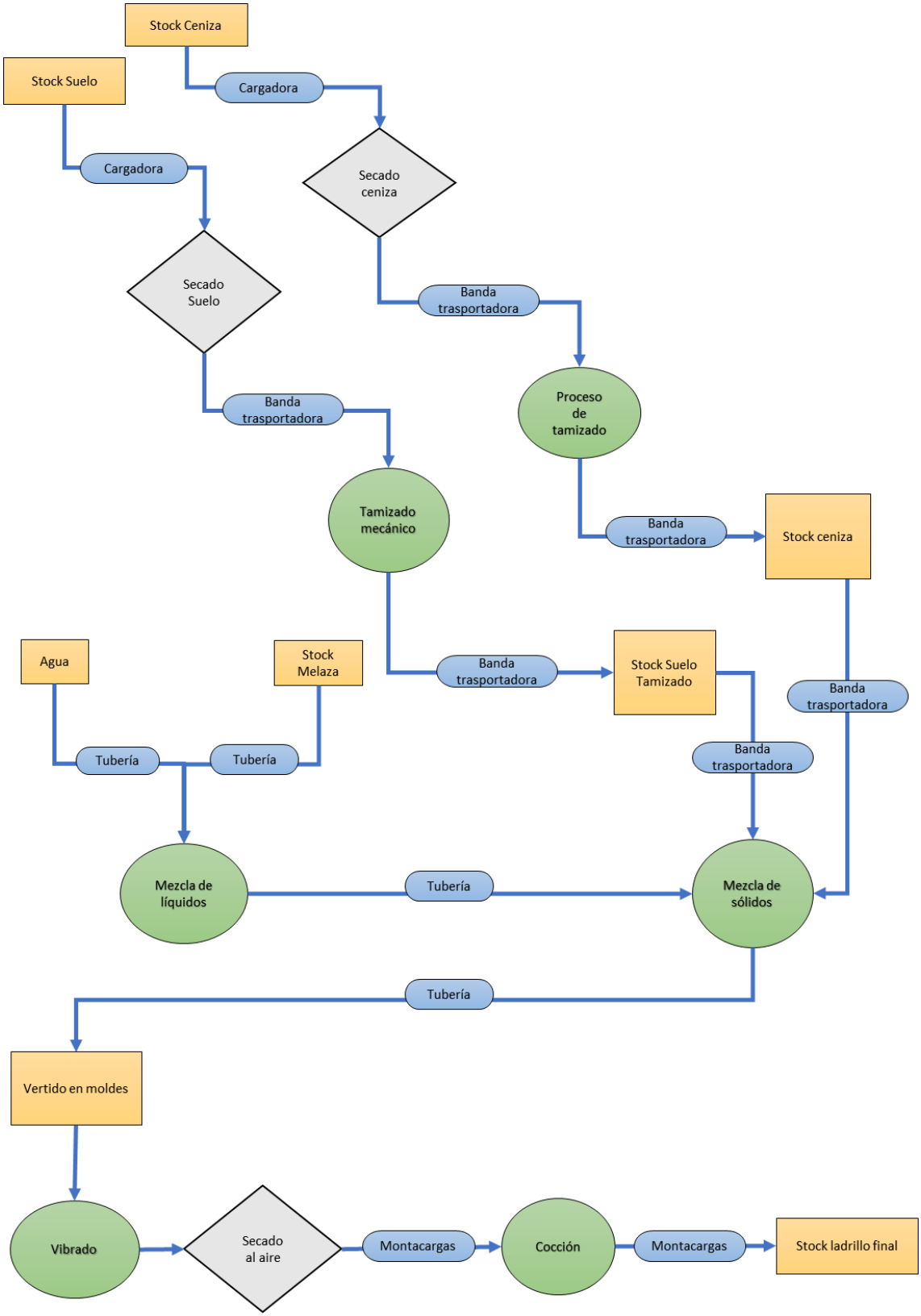


Figura 21. Línea de producción.

7.2. Inversión inicial

Tabla 50.

Aproximación a la inversión

inicial

Inversión inicial				
Tipo	**Cantidad**	**Fuente de energía**	**Costo / Unidad**	**Costo total aproximado**
Horno de laboratorio	1	Electricidad	$4.600,26	$4.600,26
Balanza industrial	1	Electricidad	$7.509,76	$7.509,76
Mini cargadora	2	Diesel	$35.000,00	$70.000,00
Banda trasportadora	6	Electricidad	$3.250,00	$19.500,00
Tamizadora	2	Electricidad	$10.085,14	$20.170,28
Mezcladora	2	Electricidad	$15.449,01	$30.898,02
montacargas	1	Diesel	$30.000,00	$30.000,00
Camión	1	Diesel	$37.190,00	$37.190,00
Horno (900°C)	1	Combustible (leña)	$70.000,00	$70.000,00
Maquina vibradora	1	Diesel	$15.000,00	$15.000,00
			Total	**$304.868,32**

7.3. Cantidades de material para el mampuesto

TK la cual contine 6% melaza 3 % CBCA 91% suelo.

Tabla 51.

Dimensiones del mampuesto final

Dimensiones del mampuesto	
Largo	0,23 m
Ancho	0,11 m
Alto	0,9 m
Volumen	0,02277 m
Masa Seca	6072 g

Tabla 52.

Porcentajes de los materiales en el mampuesto final

Método de vibración	
Cantidades del mampuesto	
CBCA	2,30%
Suelo	69,74%
Melaza	4,60%
Agua	23,36%

Tabla 53.

Cantidades en gramos del mampuesto final

Cantidades del mampuesto	
Material Seco	
CBCA	182,16 g
Suelo	5525,52 g
Melaza	364,32 g
Agua	
1851,04 ml	

7.4. Valor de cada material por unidad de análisis.

7.4.1. Suelo

Tabla 54.

Precio del Suelo por kg

Material	
Valor del suelo en mina/(m3)	$ 2,00
Peso específico suelto (kg/m3)	1660
Peso kg	1660
Precio por kg en la mina	$ 0,0012
Transporte	
Precio del flete $/peso total	$40,00
Volumen transportado (m3)	8
Cantidad transportada (kg)	13280
Precio del flete / (kg)	$0,0030
Valor total	
Precio total por unidad/kg	**$ 0,0042**

7.4.2. Ceniza

Tabla 55.

Precio de CBCA por kg.

Material		
Precio en el Ingenio Azucarero/(ton)	$	15,50
Precio en el Ingenio Azucarero /(kg)	$	0,0155
Transporte		
Precio de flete		$120,00
Volumen transportado (m3)		12
Peso específico suelto (kg/m3)		560
Cantidad transportado (kg)		6720
Precio de flete/ (kg)	$	0,0179
Valor total		
Precio total por unidad/ kg	**$**	**0,0334**

7.4.3. Melaza

Tabla 56.

Precio de la Melaza por kg.

Material		
Melaza (dólares/kg)	$	0,2900
Transporte		
Costo flete (1 ton/ viaje)	$	70,00
Capacidad camioneta (kg)		1000
Cantidad trasportada (kg)		1000
Costo de flete /(kg)	$	0,0700
valor total		
Precio total por unidad/kg	**$**	**0,3600**

7.4.4. Agua

Tabla 57.

Precio del agua por M3.

Precio total	
Precio total por unidad/ m3	$0,70

7.5. Costo directo para la fabricación del mampuesto.

7.5.1. Materiales empleados

Tabla 58.

Precio de la materia prima por cada ladrillo.

Material	Unidad	Cantidad	Desperdicio	Cantidad Mayorada	P. U	Costo	Participación
CBCA	kg	0,18	11%	0,2	$ 0,0334	$ 0,0061	3,75%
Suelo	kg	5,53	7%	5,91	$ 0,0042	$ 0,0233	14,40%
Melaza	kg	0,36	3%	0,38	$ 0,3600	$ 0,1312	81,05%
Agua	m3	0	8%	0	$ 0,70	$ 0,0013	0,80%
					Total	$ 0,1618	100%

Costo directo materia prima/unidad	**$0,16**

7.5.2. Mano de obra

Tabla 59.

Precio de la mano de obra por cada ladrillo

Cargo	Salario Mínimo Mensual	Salario Nominal Mensual	Décimo Tercero	Décimo Cuarto	Vacaciones	Aporte patronal IESS (11.15%)	Fondos de reserva	CCC	Salario real mensual	Costo diario individual	Cantidad	Costo Diario por cargo	Participación
Trabajador industrial (E2)	$402,62	$405,00	$33,75	$33,33	$16,88	$45,16	$33,74	$4,05	$571,90	$27,23	4	$108,93	43,65%
Operador de Maquinaria (C3)	$412,45	$415,00	$34,58	$33,33	$17,29	$46,27	$34,57	$4,15	$585,20	$27,87	4	$111,47	44,67%
Operador de Minicargador	$433,35	$435,00	$36,25	$33,33	$18,13	$48,50	$36,24	$4,35	$611,80	$29,13	1	$29,13	11,68%
											Total	$249,53	100,00%

7.5.3. Electricidad

Tabla 60.

Precio de la electricidad por cada ladrillo

Tipo	Unidades	Potencia horaria (kWh)	Potencia diaria bruta (kWh/día)	Factor de uso	Potencia diaria neta (Kwh/día)	Participación
Horno de laboratorio	1	1,92	15,36	1	15,36	33,42%
Balanza industrial	1	0,02	0,16	0,8	0,13	0,28%
Banda transportadora	6	0,37	2,96	0,7	2,07	4,51%
Tamizadora	2	4,1	32,8	0,5	16,4	35,68%
Mezcladora	2	3	24	0,5	12	26,11%
				Total	45,96	100%

Horas trabajadas /día	8
Costo por hora (Kw/hora)	$ 0,15
Costo por dia (Kw/hora)	$ 6,89
Producción diaria de ladrillo	13000
Costo directo electricidad /unidad	**$ 0,0005**

7.5.4. Combustibles orgánicos

Tabla 61.

Precio de los combustibles orgánicos por cada ladrillo

Tipo	Fuente de energía	Unidad	Consumo (gal/h)	Consumo bruto diario (gal/día)	Factor de uso	Consumo neto diario (gal/día)	Participación
Minicargador	Diesel	1	2	16	0,25	4	74,44%
Montacarga	Diesel	1	0,6869	5,5	0,25	1,374	25,56%
					Total	5,37	100%

Horas trabajadas / día	8
Diesel ($/galón)	$ 2,16
Combustible ($/dia)	$ 12,00
Producción diaria de ladrillos	13000
Costo directo combustible/unidad	**$ 0,0008**

7.5.5. Combustible Fósil

Tabla 62.

Precio del combustible fósil por cada ladrillo

Material		
Precio de venta por pallet	$	156,29
Peso Pallet (kg)		500
Precio de venta por (kg)		$0,31
Transporte		
Costo de transporte ($/viaje)	$	40,00
Capacidad de volqueta (m3)		8
Peso de volqueta llena con leña (kg)		4000
Costo de transporte ($/ kg de leña)	$	0,01
Precio total		
Costo final unitario ($/kg de leña)	**$**	**0,32**

Costo final unitario ($/kg de leña)	$	0,32
Producción diaria de ladrillos		13000
Cantidad de leña quemada (kg de leña/ladrillo)		0,0143
Costo de kg de (leña/ unidad)	**$**	**0,01**

7.6. Costo indirecto para la elaboración del mampuesto.

7.6.1. Recursos humanos

Tabla 63.

Precio del personal por cada ladrillo

Sector	Cargo	Salario Mínimo Mensual	Salario Nominal Mensual	Décimo Tercero	Décimo Cuarto	Vacaciones	Aporte patronal IESS (11.15%)	Fondos de reserva	CCC	Salario real mensual	Costo diario individual	Cantidad	Costo Diario por cargo	Participación
Producción	Jefe de planta (A1)	$428,59	$430,00	$35,83	$33,33	$17,92	$47,95	$35,82	$4,30	$605,15	$28,82	1	$28,82	15,32%
Administración	Gerente (A1)	$411,79	$800,00	$66,67	$33,33	$33,33	$89,20	$66,64	$8,00	$1.097,17	$52,25	1	$52,25	27,78%
	Chofer (C2)	$605,62	$610,00	$50,83	$33,33	$25,42	$68,02	$50,81	$6,10	$844,51	$40,21	1	$40,21	21,38%
	Guardia y aseo (E1)	$398,33	$600,00	$50,00	$33,33	$25,00	$66,90	$49,98	$6,00	$831,21	$39,58	1	$39,58	21,04%
Ventas	Vendedor (C3)	$403,72	$405,00	$33,75	$33,33	$16,88	$45,16	$33,74	$4,05	$571,90	$27,23	1	$27,23	14,48%
												Total	**$188,09**	**100%**

Costo diario de mano de obra	$ 188,09
Producción diaria de ladrillos	13000
Costo indirecto administración/unidad	**$ 0,0145**

7.6.2. Gastos administrativos

Tabla 64.

Precio del personal por cada ladrillo

Descripción	Costo mensual	Costo diario	Costo por unidad	Participación
Arriendo	$ 1.000,00	$ 47,62	$ 0,0111	14,16%
Limpieza	$ 200,00	$ 9,52	$ 0,0022	2,83%
Teléfono	$ 40,00	$ 1,90	$ 0,0004	0,57%
Internet	$ 40,00	$ 1,90	$ 0,0004	0,57%
Luz	$ 50,00	$ 2,38	$ 0,0006	0,71%
Agua	$ 150,00	$ 7,14	$ 0,0017	2,12%
Mantenimiento de maquinaria y equipo	$ 1.200,00	$ 57,14	$ 0,0133	17,00%
Suministros de oficina	$ 50,00	$ 2,38	$ 0,0006	0,71%
Servicios contables	$ 200,00	$ 9,52	$ 0,0022	2,83%
Seguridad	$ 200,00	$ 9,52	$ 0,0022	2,83%
Impuestos y tasas	$ 150,00	$ 7,14	$ 0,0017	2,12%
Gastos bancarios	$ 50,00	$ 2,38	$ 0,0006	0,71%
Operación de camión	$ 200,00	$ 9,52	$ 0,0022	2,83%
Total, de gastos previos	$ 3.530,00	$ 168,10	$ 0,0392	50,00%
	Total, Parcial	$ 336,19	$ 0,0784	100%
	Imprevistos (10%)	$ 33,62	$ 0,0078	
	Total	**$ 369,81**	**$ 0,0863**	

Costo indirecto diario total	$	369,81
Producción diaria de ladrillos		13000
Costo indirecto administrativos / unidad	**$**	**0,0285**

7.7. Recopilación de los valores de los costos directos e indirectos

7.7.1. Costos directos

Tabla 65.

Total de los costos directo por unidad de ladrillo

Factor	Costo Unitario		Participación
Materia prima	$	0,160	86,30%
Mano de Obra	$	0,019	10,30%
Electricidad	$	0,001	0,27%
Combustible fósil	$	0,001	0,43%
Combustible orgánico	$	0,005	2,70%
Total	**$**	**0,185**	**100%**

7.7.2. Costos indirectos

Tabla 66.

Total de los costos directo por unidad de ladrillo.

Factor	Costo Unitario		Participación
Personal complementario	$	0,014	33,6%
Gastos administrativos	$	0,028	66,4%
Total	**$**	**0,043**	100,0%

7.8. Costo de fabricación del mampuesto

Tabla 67.

Costo de la fabricación del mampuesto.

Detalle del costo de fabricación		
Total, de costos directos	$	0,19
Total, de costos indirectos	$	0,04
Costo de fabricación	**$**	**0,23**

8. Capítulo 8: Conclusiones y Recomendaciones

8.1. Conclusiones

En el desarrollo de la investigación se han presentado diversas inquietudes al respecto del proceso de mezcla, el método para la elaboración del encofrado, el tiempo de secado previo a la cocción, la temperatura de cocción, el tiempo de enfriamiento posterior a la cocción, y principalmente los materiales que conforman el mampuesto. En conclusión, esta investigación abordó todas las inquietudes presentadas respaldándose teóricamente desde el punto de vista técnico e histórico para establecer metodologías, dimensiones y procedimientos necesarios para sustentar de manera adecuada la investigación generando una base en la cual se pueden desarrollar nuevas investigaciones.

8.1.1. Conclusiones Cualitativas

Capítulo 1.

- El sector de la construcción genera dinamismo en la economía a nivel mundial y local, la energía empleada para desarrollar dicha actividad genera un impacto ambiental considerable, para reducir dicho impacto se desarrollan constantemente investigaciones sobre la utilización de materiales desechados de otras industrias.

Capítulo 2.

- En el Ecuador se han desarrollado desde hace muchos años varias industrias azucareras, existen niveles distintos de eficiencia y generación de desechos, por tanto, no es posible estandarizar un parámetro general para el tratamiento

de desechos, es necesario desarrollar investigaciones específicas sobre cada caso y tipo de desecho generado.

- Debido a la importancia que tiene la producción de la caña de azúcar a nivel mundial sus residuos son abundantes en la misma escala, el país que encabeza la lista como generador de residuos en la industria azucarera es Brasil al ser el primer productor a nivel mundial.
- La producción de cacao ocupa el primer lugar en hectáreas cultivadas a nivel nacional, la caña de azúcar se encuentra en el cuarto lugar con un 9, 44 % del total de la superficie. A pesar del lugar que ocupa a nivel nacional la generación de desechos producida es importante.

Capítulo 3.

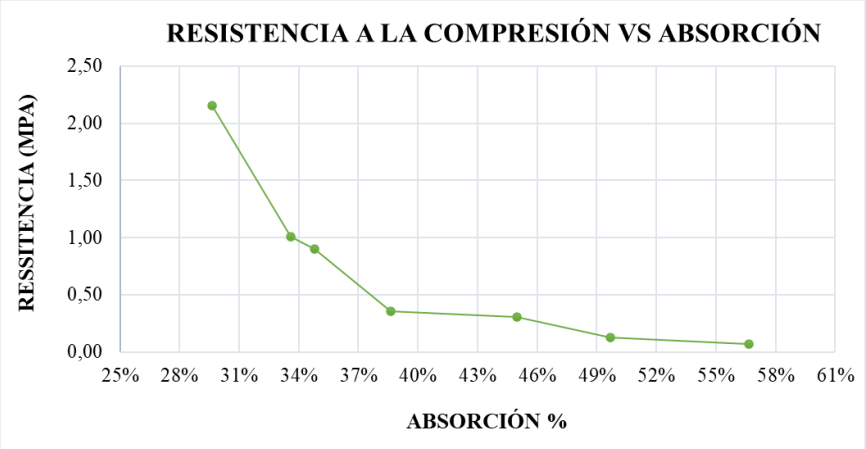
- La naturaleza geológica del Ecuador, la disponibilidad de material para la realización de mampuestos y la facilidad para obtenerlas ha sido el motivo principal por el cual se ha empleado la construcción con mampostería como la más frecuente hasta ahora.

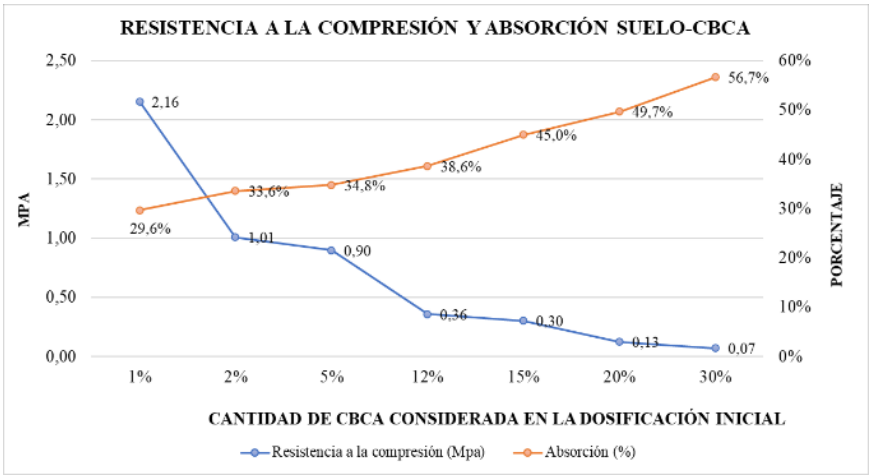
Capítulo 4.

- Las características cementantes del suelo seleccionado han facilitado en gran medida la elaboración del mampuesto en su etapa de secado, puesto que ha permitido que la muestra se mantenga en la forma deseada hasta completar el proceso de la elaboración del ladrillo.

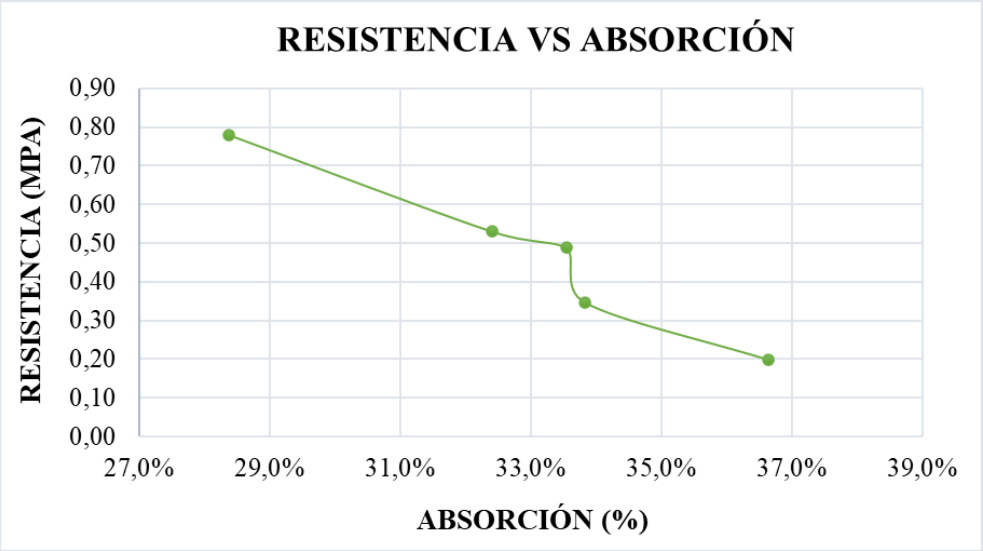
8.1.2. Conclusiones cuantitativas

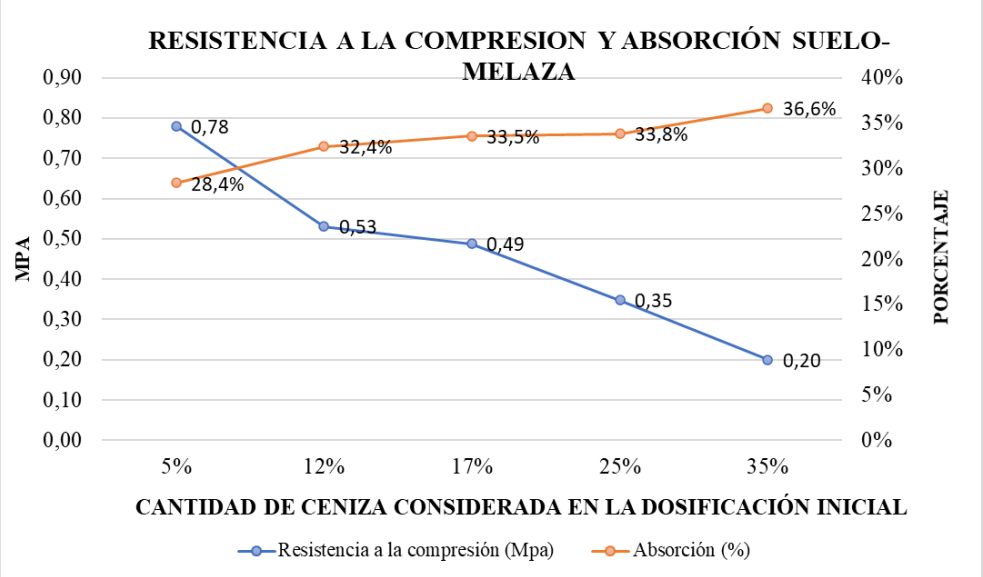
- **Suelo – CBCA:** Se han realizado diversos estudios sobre la relación existente entre la absorción y la resistencia a la compresión simple. Dichos estudios confirman los resultados obtenidos en la presente investigación, el porcentaje de absorción es inversamente proporcional a la resistencia a la compresión simple del mampuesto. El punto de intersección entre las curvas correspondientes a la absorción y a la resistencia a la compresión del método 1 revelan un punto máximo de aproximadamente 1.8 % de cantidad de CBCA correspondiente a aproximadamente a 1.35 MPa para obtener el mejor resultado considerando la mezcla analizada



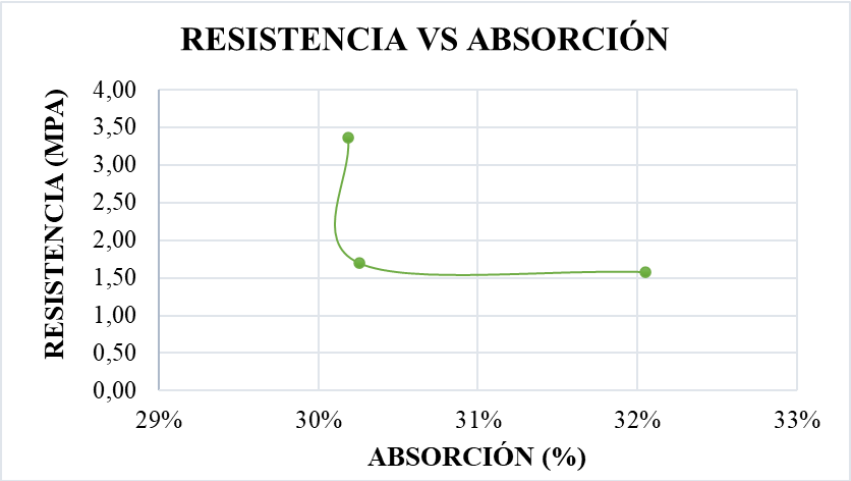


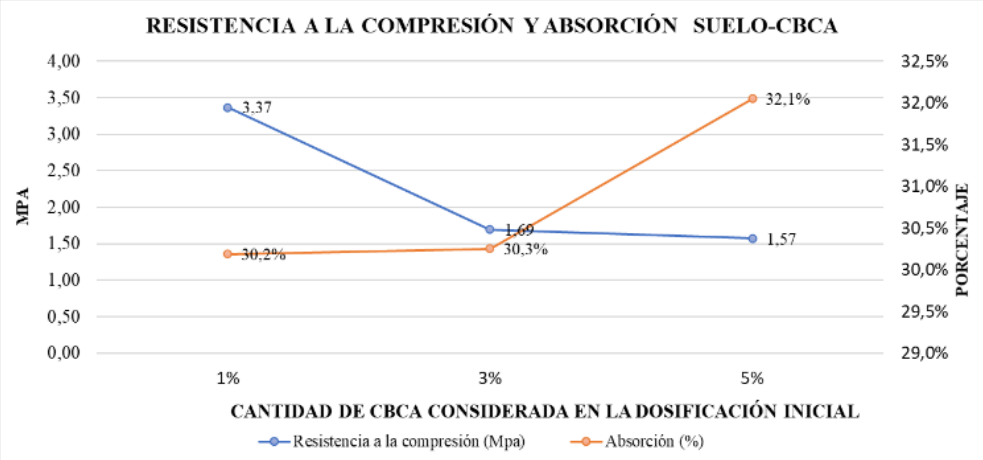
- **Suelo – Melaza:** El comportamiento de la curva se mantiene decreciente en todo su recorrido, se puede apreciar una caída más pronunciada a partir de aproximadamente el 34 % de absorción, el porcentaje más alto correspondiente a la compresión simple con menor porcentaje de absorción se encuentra en una cantidad de ceniza considerada en dosificación de 8 % con una absorción de 29% y una resistencia a la compresión simple de 0. 68 Mpa.



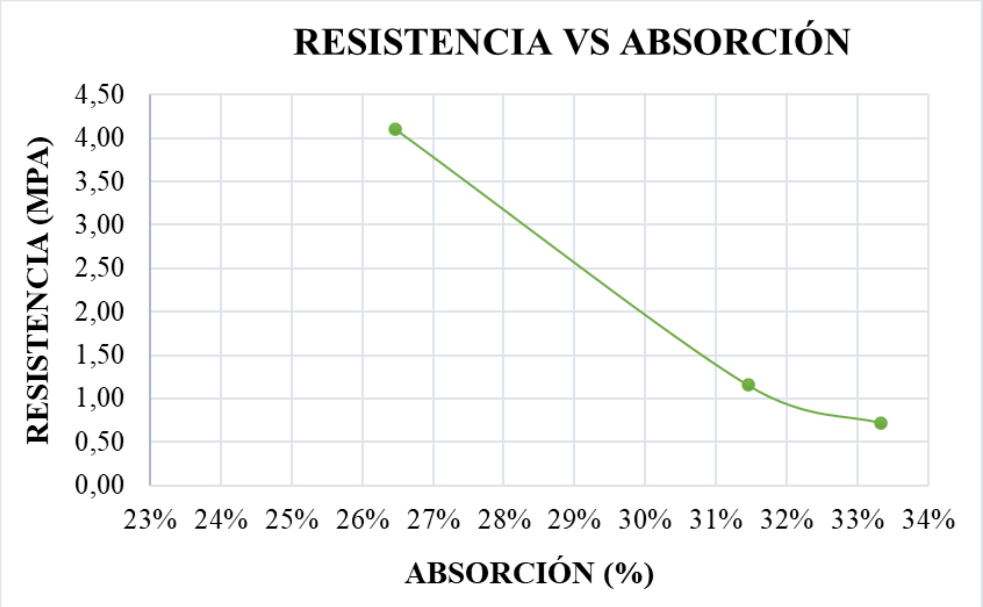


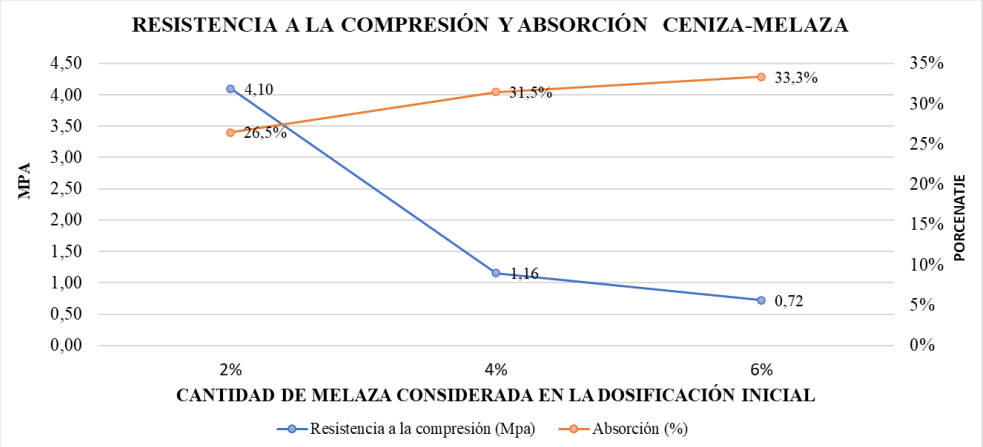
Suelo – CBCA: Se presenta un comportamiento decreciente en el rango, a un valor de 3.4 Mpa se obtiene una absorción de 30.2 %, al alcanzar el valor de 30.3 % de absorción la resistencia a la compresión simple cae en un 50 % determinando así el límite al que la mezcla puede llegar para mantener sus propiedades mecánicas, a partir de este valor de absorción la curva presenta un comportamiento decreciente constante. Para este caso particular la intersección entre la Absorción y la compresión simple se encuentra aproximadamente en el 3.2 % de CBCA considerada en la dosificación, alcanzando una resistencia a la compresión simple de 1.64 MPa con un a absorción de 30.7 %.



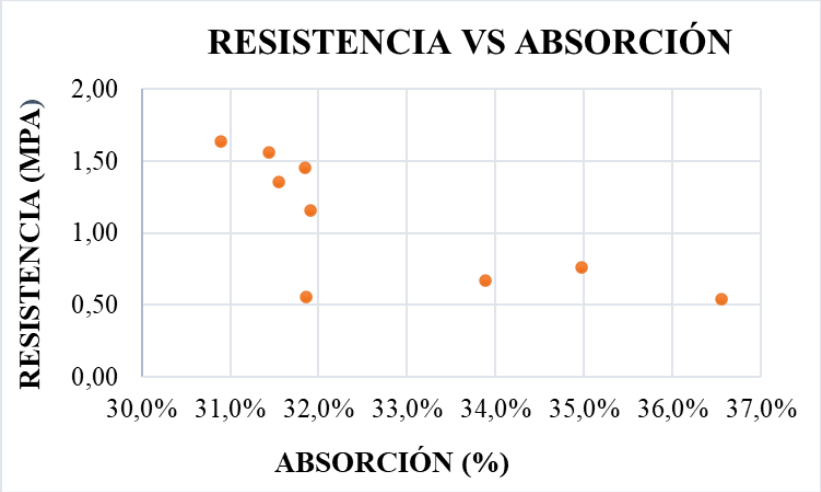


Suelo – Melaza: La relación que existe entre la resistencia a la compresión y la absorción disminuye a medida que el porcentaje de agua retenida aumenta, se puede apreciar un punto de inflexión en la curva aproximadamente en el 32 % de absorción, a partir de este punto la curva se comporta linealmente. El punto de intersección entre las dos curvas desarrolladas representa el punto con menor porcentaje de absorción y mayor resistencia a la compresión simple simultáneamente, para la mezcla de suelo y melaza para el segundo método es de 2.4 % de melaza considerada en la dosificación inicial con 25.1 % de absorción y 3.55 MPa de resistencia a la compresión simple.

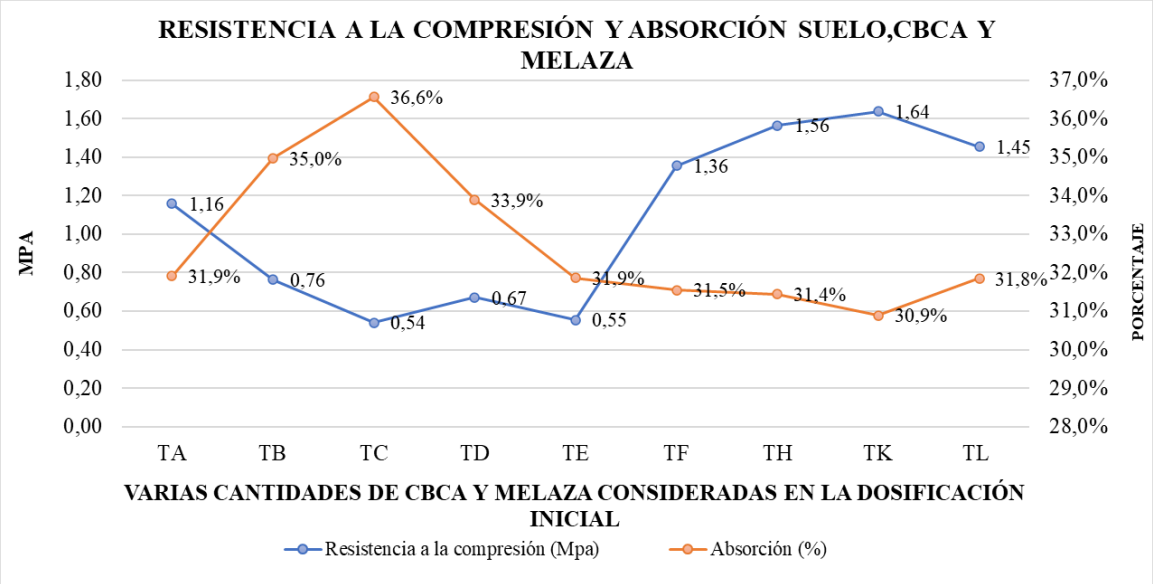




Combinación de Suelo, Melaza, Ceniza: La resistencia a la compresión disminuye a medida que el porcentaje de absorción aumenta de manera general, sin embargo, al no ser evaluado un material distinto en cada uno de los puntos se obtienen resistencias superiores con respecto a puntos cercanos en la gráfica mostrada.

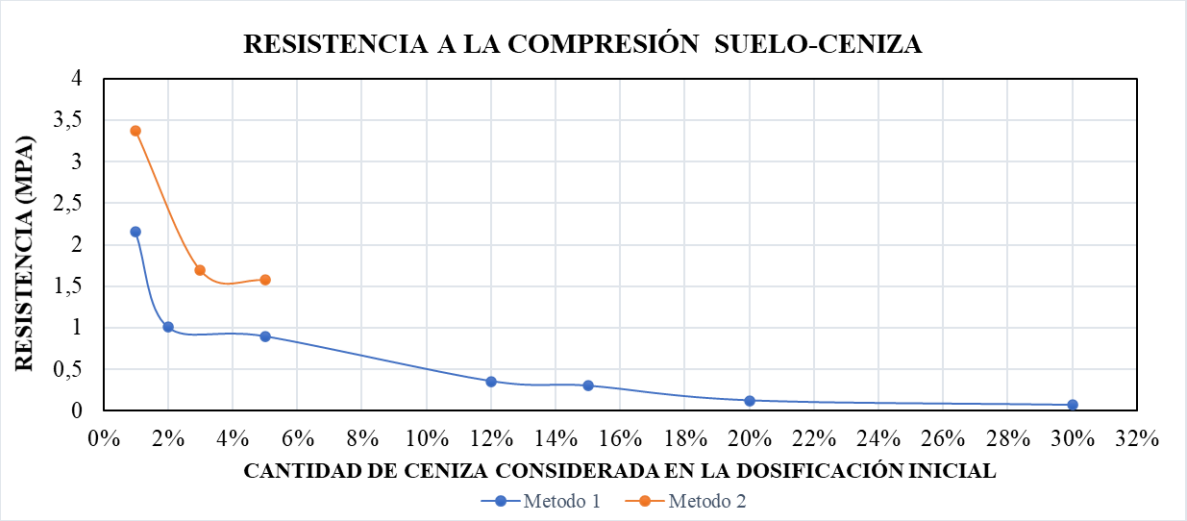


- Para este caso general realizado por medio del método 2 no pueden obtenerse máximos producto de la relación entre la curva de absorción y la de compresión, ya que los porcentajes de mezcla realizados para cada punto son independientes en su composición sin que se haya relacionado sus proporciones de masa.
- Con el fin de determinar la dosificación adecuada para la elaboración de un ladrillo cocido que contenga CBCA, Melaza y Suelo es indispensable considerar la variación de la resistencia a la compresión simple relacionada con la absorción que se genera en base a la modificación de las proporciones de los materiales y la frecuencia de vibrado establecida.

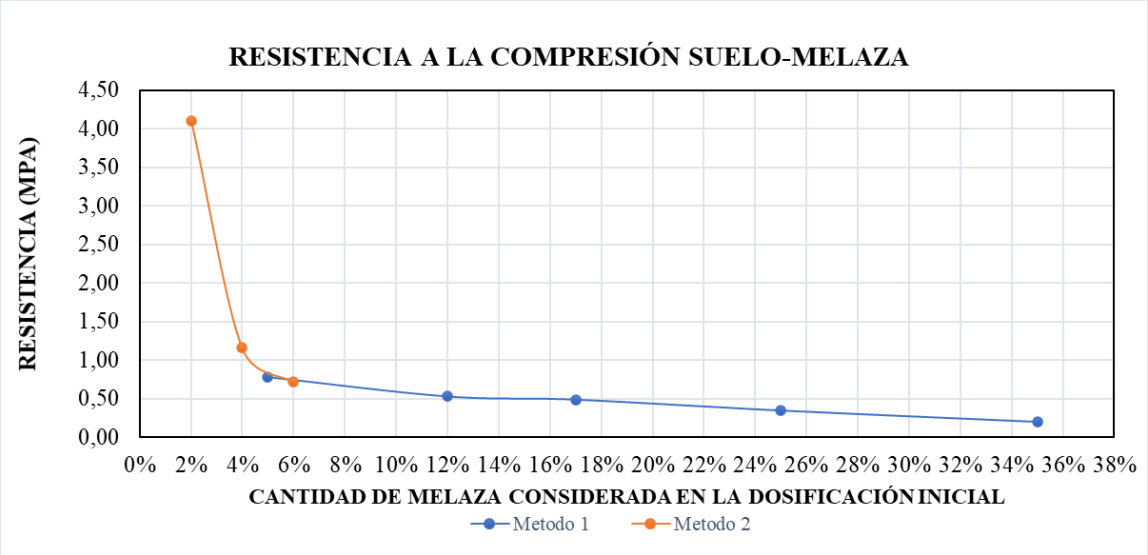


Capítulo 5 y 6: Análisis comparativo entre metodologías.

- **Compresión simple en Suelo-CBCA:** La resistencia a la compresión simple realizada en la investigación reveló que existe una mejor respuesta por parte el material a porcentajes menores de ceniza en los dos métodos. El comportamiento de las curvas se muestra similar en porcentajes bajos, sin embargo, el segundo método es aproximadamente 63 % mejor que el primero. Es posible que el reacomodo de las partículas producido por el vibrado, la sobresaturación y el tiempo de secado al aire hayan sido los factores que llevaron a mejorar el material.

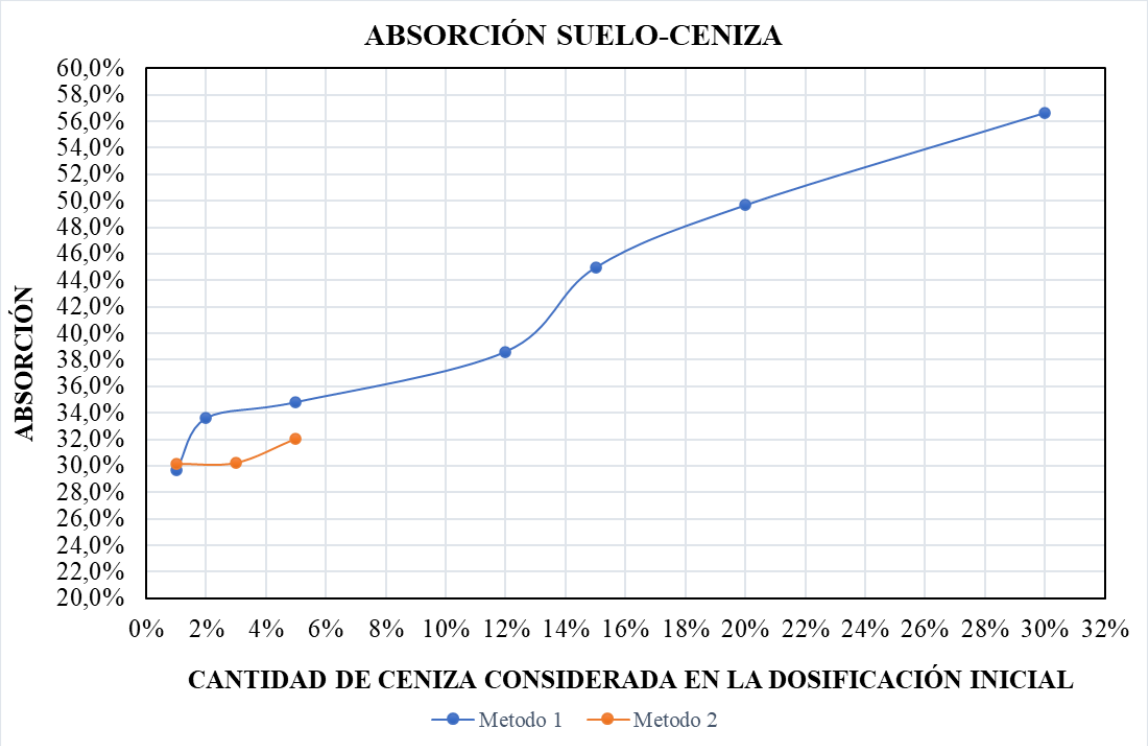


- **Compresión simple en Suelo-Melaza:** La cantidad de melaza empleada en el segundo método se estableció de acuerdo con los resultados parciales obtenidos en el primer método de modo que se emplearon porcentajes bajos de melaza de hasta el 6 %, en este rango se puede observar una reducción de la resistencia a la compresión considerable al aumentar del 2% al 4% de melaza. Se puede observar un dato muy similar para las dos metodologías cuando la melaza alcanza el 6 %, a partir del 6% la curva mantiene un comportamiento medianamente uniforme. El aumento de melaza en la mezcla mejora notablemente la trabajabilidad del material mientras que afecta a la resistencia a la compresión simple.



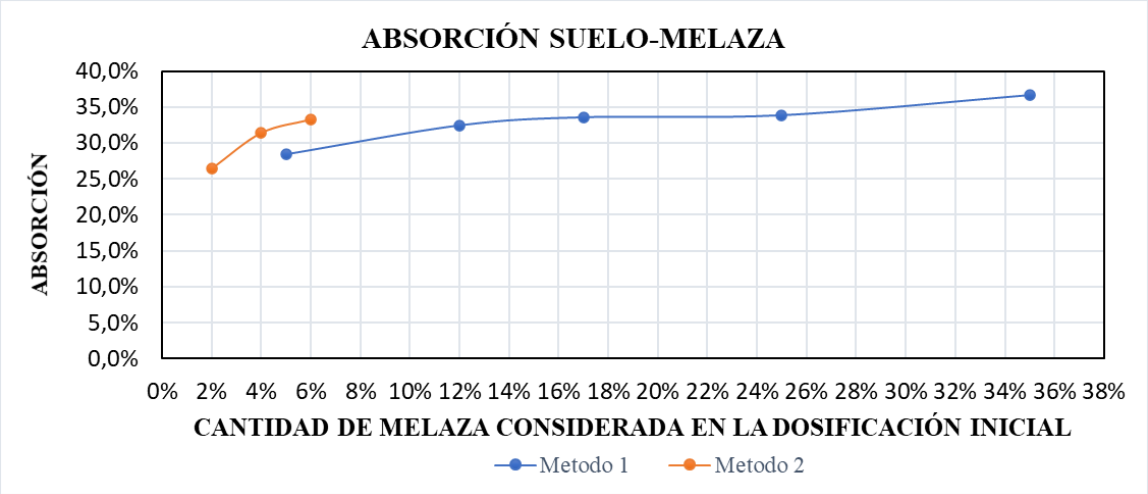
- **Compresión simple en Suelo-CBCA y Melaza:** Realizadas las combinaciones descritas en este estudio, se obtuvo como mejor resultado con respecto a la resistencia a la compresión simple por medio del segundo método la muestra TK con un valor de 1.64 MPa con un porcentaje de absorción de 30.9 %. La combinación seleccionada para el primer método pudo ser realizada , reconstituida y cocida a 900°C , sin embargo no pudo ser ensayada a compresión simple ni a absorción , ya que la casi inexistente cohesión no permito sumergir la muestra en agua sin que esta se disolviera por completo, mientras que para el ensayo de compresión no fue posible moverla hacia la máquina de ensayo sin evitar que sufriera daños durante el traslado y colocación, en consecuencia es evidente que el material obtenido de por el primer método no es apto para la elaboración de ladrillos cocidos.
- **Absorción en Suelo-CBCA:** Se puede observar que para una absorción de aproximadamente el 30 % la cantidad de ceniza se mantiene en 1 % tanto en el primer método como en el segundo, a partir del 1% se muestra un

comportamiento significativamente distinto, el porcentaje de ceniza empleado en el método 1 se incrementa y a su vez se incrementa su absorción. Se han analizado una mayor cantidad de datos en el método 1 puesto que es necesario conocer el comportamiento que puede tener la ceniza para el segundo caso no es necesaria la obtención de una gran cantidad de datos adicionales a los mostrados ya que se asume un comportamiento similar en los puntos siguientes.



- **Absorción en Suelo-Melaza:** El porcentaje de absorción presente en los especímenes del método 2 correspondientes a el 2% 4% y 6%, están por encima del porcentaje del método 1 se asume un comportamiento similar en porcentajes superiores. Es posible que la sobresaturación del suelo en adición con melaza generara más trabajabilidad sin embargo se presenta una mayor

absorción en porcentajes mayores al 2 %, mientras que en porcentajes menores el porcentaje de absorción es menor por el método 2.



- **Comparación de resultados obtenidos con la normativa ecuatoriana vigente la metodología 1**: según la norma INEN de ladrillos ninguna combinación cumple con la normativa en Resistencia a la compresión y absorción. La evaluación de la resistencia a la flexión no fue necesario analizarla por este método puesto que no cumplió las características mecánicas que la norma exige en ninguno de los casos. La metodología empleada para este tipo de mampuestos es inadecuada ya que el método de compactación Proctor fue desarrollado para suelos arenosos.

TABLA 1. Requisitos de resistencia mecánica y absorción de la humedad que deben cumplir los ladrillos cerámicos.

Tipo De Ladrillo	Resistencia mínima a la compresión MPa* (ver nota 1)		Resistencia mínima a la flexión MPa* (Ver nota 1)	Absorción máxima de humedad %
	Promedio de 5 unidades	Individual	Promedio de 5 unidades	Promedio de 5 unidades
macizo tipo A	25	20	4	16
macizo tipo B	16	14	3	18
macizo tipo C	8	6	2	25
hueco tipo D	6	5	4	16
hueco tipo E	4	4	3	18
hueco tipo F	3	3	2	25
Método de ensayo	INEN 294		INEN 295	INEN 296

Combinación	Resistencia Máxima (Mpa)	Absorción (%)
Pasado el tamiz #40	4,02	26,47 %
Pasado el tamiz #4	2,53	31,98 %
Suelo-CBCA (1%)	2,16	29,6%
Suelo-Melaza (5%)	0,78	28,4%

- **Comparación de resultados obtenidos con la normativa ecuatoriana vigente la metodología 2**: Se puede observar un incremento significativo en las características mecánicas del material obtenido con respecto a el Método 1, sin embargo, el mampuesto se mantiene por debajo de los parámetros requeridos para ser empleado como material de construcción en el Ecuador. Para la combinación final seleccionada se evaluó la resistencia a la flexión (0,34 Mpa) ya que el comportamiento del material dio como resultado un incremento en la resistencia a la compresión simple en más del 50 % con respecto al método 1.

Combinación	Resistencia Máxima (Mpa)	Absorción
Pasado el tamiz #40	4,43	26,15 %
Suelo-CBCA (1%)	3,37	30,2%
Suelo-Melaza (2%)	4,10	26,5%
Suelo-CBCA-melaza	1,66	30,9%

TK= 6%M 3%C 91%S

- Realizadas las metodologías planteadas se obtuvieron resultados significativamente superiores al emplear la metodología 2 (Elaboración del mampuesto mediante el criterio de vibración controlada), es importante mencionar que los resultados obtenidos en la metodología 2 no fueron adecuados para elaborar un mampuesto que pueda ser utilizado en el la construcción en el Ecuador.
- La utilización de CBCA para la elaboración de un mampuesto cocido disminuyo en gran medida las características necesarias e indispensables que debe tener un mampuesto, por lo cual el uso de este material de desecho debe ser empleado en proporciones extremadamente pequeñas o se debe prescindir de su uso.
- Para la segunda metodología la melaza fue fundamental ya que al mezclarse con el agua produjo un efecto similar al de un aditivo plastificante lo cual facilito el acomodo de las partículas en el encofrado durante el vibrado, En el proceso de secado al aire las muestras con melaza desarrollaron microorganismos en la capa externa de las muestras los cuales desaparecieron con el proceso de cocción.
- Producto del análisis de costos realizado en el capítulo 7 se establece un costo de fabricación de 0.23 dólares referente a un mampuesto que no cumple con los estándares mínimos en el Ecuador, es importante recalcar que el costo de fabricación disminuye de manera considerable no se emplea CBCA y principalmente la melaza ya que estos representan el 84,8 % del costo de materia prima.

8.2. Recomendaciones

Esta investigación ha planteado dos metodologías sustentadas teóricamente para la introducción de materiales ajenos al suelo empleado para la elaboración de ladrillos tradicionales, se recomienda mantener las metodologías planteadas para el desarrollo de nuevas investigaciones que consideren distintos materiales adicionados en el proceso de mezcla de un mampuesto.

Una de las principales funciones de una mampostería es la de aislar ambientes, la conductividad térmica depende en gran medida del tipo y la composición de la materia de la cual están constituidos los materiales que conforman un mampuesto, se propone investigar las propiedades térmicas de los materiales obtenidos con el fin de obtener un material que permita mejorar la calidad ambiental de los espacios.

Capítulo 1.

- Debido a la cantidad de desechos producidos por sectores industriales en el país debe considerarse como un campo de investigación la reutilización estos tanto en materiales para la construcción como en otros sectores productivos.

Capítulo 2.

- Se ha sectorizado el consumo del azúcar a nivel nacional por los ingenios azucareros instalados. Es importante la comercialización de azúcar de modo que las distintas marcas y tipos de azúcar se encuentren disponibles para todas las provincias de modo que disminuya el monopolio a nivel nacional.
- Las condiciones naturales de ciertos sectores del país son adecuadas para el cultivo de caña de azúcar esto no ha sido aprovechado en su totalidad, en

consecuencia, se recomienda optimizar los recursos para incrementar las exportaciones a nivel nacional.

Capítulo 3.

- Considerando que los ladrillos artesanales emplean metodologías no estudiadas a profundidad ni establecidas de Manera científica no ha sido posible cuantificar su eficiencia en varios campos, por este motivo es indispensable el estudio a profundidad de este tema para mejorar el sistema de construcción desarrollado a través del ladrillo.

Capítulo 4.

- Para la obtención del suelo es recomendable retirar la capa vegetal de manera que no existan residuos en la muestra obtenida, el estrato donde se encuentra el material debe ser el mismo durante todo el proceso, se debe considerar la posible existencia de vetas de arena u otros depósitos ajenos a la granulometría del estrato original puesto que modifican sus características.
- Realizar estudios del suelo es fundamental ya que de esta manera se conoce sus características físicas y mecánicas de dicho material el cual nos ayuda a tomar decisiones para su uso.
- Es importante tomar en cuenta la curva granulométrica considerada con el fin de mejorar el reacomodo de las partículas de suelo, esta puede ser modificada según los requerimientos y características del material a utilizarse.

Capítulo 5 y Capitulo 6.

- Se debe tomar en cuenta la posición en que se coloca la muestra en el interior de la mufla para que la cocción de todo el mampuesto sea uniforme, provocando así una buena cocción permitiendo mejores características al momento de ensayar las muestras.
- Para realizar las mezclas de los distintos materiales es importante analizar la manera correcta considerando sus características físicas para realizar estas, ya sea al peso o al volumen para que tenga una buena homogeneidad la combinación realizada.
- Al momento que se desarrolla la extracción de las muestras reconstituidas es importante hacerlo evitando inclinar demasiado el molde para que no existan perdidas de material ni deformaciones en los especímenes producto de la concentración de esfuerzos.
- Para el ensayo de resistencia a la compresión se recomienda hacer el refrentado de las muestras si sus caras a ensayarse no son paralelas o si tienen imperfecciones, para esto se llevó a cabo el capeo con yeso de alta resistencia debido a que este material es más resistente que la muestra obteniendo así mejores resultados.
- Una vez finalizado el tiempo de cocción de los especímenes o los mampuestos en la mufla es importante esperar aproximadamente 16 horas para poder abrir la mufla y sacarlos de ahí debido a que temperatura de cocción es muy alta y podría existir quemaduras si no se considera el tiempo de enfriamiento del horno.
- Las cenizas del bagazo de la caña de azúcar se obtuvieron del Ingenio Azucarero del Norte las cuales provienen de la quema del bagazo, es

importante recalcar que dependiendo de la temperatura a la que se incinera la CBCA adquiere sus caracterices físicas y mecánicas por lo que se recomienda realizar más investigaciones con CBCA de otros ingenios azucareros.

- Se recomienda realizar un estudio del comportamiento de la temperatura de cocción del horno, determinar el tiempo que tarda en llegar a la temperatura deseada como el tiempo que tarda en enfriarse hasta llegar a la temperatura adecuada para que las muestras sean extraídas con seguridad.
- En esta investigación las muestras después de ser desencofradas se expusieron a un tiempo de secado de aproximadamente 7 días, se sugiere para nuevas investigaciones que el tiempo de secado al aire sea mayor con el fin de comparar si existe mejores resultados al momento de ensayar resistencia a la compresión y absorción.
- Se recomienda desarrollar mampuestos con una temperatura de cocción distinta a la desarrollada en la presente investigación, así como también el tiempo de cocción y la forma de aplicación de la temperatura en función del tiempo en un rango de 900 a 1200 °C como máximo.

Capítulo 7.

- Los costos de un proyecto son importantes para empezar a ejecutarlo por eso es fundamental realizar varios estudios como: estudio de mercado, un análisis económico financiero, cálculo de costo-beneficio, ingreso y egresos de flujo de caja para que de esta manera se tenga aproximaciones mucho más exactas para la inversión y costos.

La implementación de la ceniza y de la melaza fueron altamente perjudiciales, es importante desarrollar investigaciones con respecto al comportamiento físico químico correspondiente a la interacción de los materiales antes de la cocción y después de ella.

9. Capítulo 9: Bibliografía

Achilles, C. M., Reynolds, J. S., & Achilles, S. H. (2014). Problem analysis. In *Problem Analysis* (Vol. 39, Issue 1). https://doi.org/10.4324/9781315853178

Adell Argilés, J. M. (1992). La Arquitectura De Ladrillos Del Siglo Xix. *Article, 44 (421)*, 5–15.

Almazán de OlmOrtega-Andrade, F., & Ortega Andrade, F. (1990). La construcción en Asiria y Persia. *RE: Revista de Edificación*, *8*, 65–76.

o, O., Hernández Gutiérrez, A., Brizuela, M. A., Carvajal, O., Arias, G., & Fernández, N. (2013). *Parte V: El bagazo de la caña de azúcar. Propiedades, constitución y potencial*. DOCPLAYER. https://docplayer.es/72041168-Parte-v-el-bagazo-de-la-cana-de-azucar-propiedades-constitucion-y-potencial.html

American Society for Testing and Materials. (2019). *ASTM C67/C67M-19: Standard Test Methods for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile*. ASTM International.

Andrés, C., Patiño, V., Giseth, L., & Código, H. D.-. (2018). Análisis De Granulometría Por Hidrómetro Y Un Método Automatizado Para Suelos Bentóniticos. *Universidad Católica De Colombia*, 143.

Aracelis, A., Galíndez, S., Cruz, J. G., Zérega, L., & Rodríguez, O. A. (2009). Normas preliminares DRIS desarrolladas para caña de azúcar a partir de un bajo número de muestras. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, *1*, 1700–1706.

Arquitectura Pura. (n.d.). *El Ladrillo*. Arquitectura Pura. https://www.arquitecturapura.com/ladrillo/

Auditores independientes. (2019). *Ingenio Azucarero del Norte Compañía de Economía mixta "IANCEM."* 83.

Barranzuela Lescano, J. (2014). Proceso productivo de los ladrillos de arcilla producidos en la región Piura. *Universidad de Piura*, 95.

Barrera, R., & Pacheco, M. (2011). Producción de ácido láctico mediante el uso de Lactobacillus rhamnosus a partir de melaza. *Universidad Técnica de Ambato*, 118.

Benítez Rojo, A. (1996). *The Repeating Island*.

BuscaPalabra. (n.d.). *Mampuesto*. BuscaPalabra. https://www.buscapalabra.com/definiciones.html?palabra=mampuesto#resultados

Cachago, M., & Caguano, C. (2016). Utilización de lodos de la planta de tratamiento de agua residual de la empresa franz viegener f.v.-área andina s.a. para la

elaboración de ladrillos artesanales. In *Universidad Central Del Ecuador* (Issue c).

Campbell, J., & Pryce, W. (2004). *LADRILLO. HISTORIA UNIVERSAL* (Primera Ed). Art Blume, SI.

Castillo, R., & Silva, E. (2004). Fisiología, Floración Y Mejoramiento. *Centro de Investigación de La Caña de Azúcar Del Ecuador*, *3*, 17.

Charro, D. M., & Gaudry, K. (2020). *Circular Economy from the Statutory Functions of the Municipal Gad*. 24–33.

Chávez, c. (2017). *Empleo de la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) como sustituto porcentual del agregado fino en la elaboración del concreto hidráulico*. 133.

Construmatica. (2011). *Ladrillo*. Construmatica. https://www.construmatica.com/construpedia/Ladrillo

Corporación Financiera Nacional. (2021). *Ficha Sectorial*. *1*(1), 24.

Corso, D., & Cuatín, M. (2011). *Diseño de una Máquina Semiautomática para la Fabricación de Adoquines y Bloques*. 217.

Definicion.De. (n.d.). *Ladrillo*. Defincion.De. https://definicion.de/ladrillo/

Escandón, C. E. G., Velasco, D. V. V., López, C. M., Ágredo, J. T., & Salcedo, L. O. G. (2012). Ceniza de bagazo de caña como aditivo al cemento Portland para la fabricación de elementos de construcción. *Acta Agronómica*, *61*(SPL.ISS.), 77–78.

Fajardo, E., & Sarmiento, S. (2007). Evaluación de melaza de caña como sustrato para la producción de Saccharomyces cerevisiae. *Universidad Pontificia Javeriana, Tesis doctoral*, 24–25.

FAOSTAT. (n.d.). *Producción caña de azúcar*. https://www.fao.org/faostat/es/#data

Farfán, M., & Hary, P. (2018). *Ceniza de bagazo de caña de azúcar en la resistencia a la compresión del concreto*. Universidad César Vallejo. https://www.redalyc.org/jatsRepo/5217/521758012002/html/index.html

García Vélez, E. I. (2019). *CENIZAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA MEJORAR RESISTENCIA Y PERMEABILIDAD DEL HORMIGÓN*. 89.

Geo Engineer. (n.d.-a). *Atterberg Limits*. Geo Engineer. https://www.geoengineer.org/education/laboratory-testing/atterberg-limits

Geo Engineer. (n.d.-b). *Guide for Grain Size Analysis*. Geo Engineer. https://www.geoengineer.org/education/laboratory-testing/step-by-step-guide-for-grain-size-analysis

Geo Engineer. (n.d.-c). *Measurement of specific gravity of soils*. Geo Engineer. https://www.geoengineer.org/education/laboratory-testing/measurement-of-specific-gravity-of-soils

Geo Engineer. (n.d.-d). *Water Content*. Geo Engineer. https://www.geoengineer.org/education/laboratory-testing/water-content-w

Gonzáles, M. A. G., & Ponce, P. P. (2012). Uso de vidrio de desecho en la fabricación de ladrillos de arcilla. *CIBA Revista Interamericana de Las Ciencias Biológicas y Agropecuarias Gonzáles, M. A. G., & Ponce, P. P. (2012). Uso de Vidrio de Desecho En La Fabricación de Ladrillos de Arcilla. CIBA Revista Interamericana de Las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, *1*, *1*, 43–56.

Grandes Emprendedores. (2012). *Ingenio Valdez*. 84–85.

Gualacata, R., & Ortega, J. (2017). *Determinación Experimental De La Resistencia Asociada a La Falla Por Tracción Diagonal De Dos Tipos De Mampostería Simple: Bloque Y Ladrillo Para Ser Usados En Modelos Computacionales.* 145.

Hart, C., & Powell, A. C. (2010). Determining cognitive deterioration requires multiple tests administered on more than one occasion. *Psychiatry and Clinical Neurosciences*, *64*(6), 667. https://doi.org/10.1111/j.1440-1819.2010.02138.x

Hernandez, U. (2009). *Comportamiento mecánico y físico del mortero a base de CBCA como árido en aplanados en muros*. 0–47.

IESSON. (2011). Nutrición aviar comercial. *AGROSAVIA*.

INEC. (2021). Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua. *Instituto Nacional de Estadísticas y Censos*, 23.

INEN. (1977a). *Ladrillos Cerámicos, Determinación de absorción de humedad*. 7–10.

INEN. (1977b). *Melazas, Requisitos*. *5*, 4–8.

InfoAgro. (2011). *El cultivo de la caña de azúcar*. Infoagro. https://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_cana_azucar.asp

Ingenio Azucarero del Norte. (2021). Ficha técnica Melaza. *Ingenio Azucarero Del Norte*, 1. https://doi.org/10.14210/rtva.v23n2.p387

Jara, R., & Palacios, R. (2015). Utilización de la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) como sustituto procentual del cemento en la elaboración de ladrillos de concreto. *Universidad Nacional Del Santa*, 104.

Javier, F., Ayón, H., Valencia, C., & Valencia, C. (n.d.). *El sector cañero en Nayarit desde una perspectiva organizacional y ambiental*.

Loh, Y. R., Sujan, D., Rahman, M. E., & Das, C. A. (2013). *Sugarcane bagasse—The future composite material: A literature review*. Resources, Conservation AndRecycling. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.03.002

López-Arce, P. (2011). La conservación de los geomateriales en el patrimonio. *La Conservación de Los Geo materiales Utilizados En El Patrimonio*, 75–84.

Lozano, E. (2010). *Determinación de la Absorción del agua en ladrillos*. Universidad Nacional de Ingeniería. https://www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-de-ingenieria/ciencia-de-materiales-ii/determinacion-de-la-absorcion-del-agua-en-ladrillos/3308328%0A

Mendoza Cantos, J. G., & Vanga Arvelo, M. G. (2020). Realidad y expectativa sobre la construcción sostenible en Ecuador. *Revista San Gregorio*, *43*, 197–209.

Methods, S. T. (2009). Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12 400 ft-lbf / ft 3 (600 kN-m / m 3)) 1. *Annual Book of ASTM Standards*, *3*(Reapproved), 13. https://doi.org/10.1520/D0698-12R21.

Meza, J. de J. (2013). Evaluación Financiera de Proyectos. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9).

Navarrete, R., & Rubio, R. (2018). *Ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBC) como aditamento al mortero para enlucidos*. *July*, 144.

NTE INEN, 293:1977. (2014). *Ladrillos Cerámicos. Definiciones. Clasificación Y Condiciones Generales*. 2–7.

NTE INEN 0294. (1978). Ladrillos cerámicos determinación de la resistencia a la compresión. *Normativa Técnica Ecuatoriana*, *0277*, 9.

Pérez, N., Garnica, P., Flores, B., Mendoza, I., & Reyes, M. (2012). Comportamiento de suelos finos compactados con altos niveles de esfuerzo cortante Behavior of fine-grained soils compacted with high shear stresses. *Instituto Mexicano Del Transporte*, *350*, 109.

Pippo, A., Luengo, C., Felfli, F., Garzone, P., & Cornacchia, G. (2009). Energy recovery from sugarcane biomass residues: Challenges and opportunities of bio-oil production in the light of second-generation biofuels. Journal of Renewable and Sustainable Energy. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, *1*(6).

Plantasmania. (2010). *Caña de azúcar: características, cultivo, propiedades y más*. Plantasmania. https://www.plantasmania.com/cana-de-azucar/

Pozo, C. P. (2011). "Aprovechamiento Del Bagazo De Caña De Azúcar En La Fabricación De Bloques Ecológicos Para Mampostería Liviana." *Tesis De Grado*.

Real Academia Española. (n.d.). https://www.rae.es/

Rocas y Minerales. (n.d.). *LADRILLO*. Rocas y Minerales.

Rodhes, D. (1989). *Arcilla y vidriado para el ceramista*. Editorial Ceac.

Sacoto, J. (2013). Diseño del proyecto para la implementación de una fábrica productora de ladrillo en la ciudad de azogues. *Tesis Previa a La Obtención Del Título de: Ingeniero Industrial*, 255.

Sánches, A., Vayas, T., Mayorga, F., & Freire, C. (2018). Sector Azucarero del Ecuador. *Observatorio Económico y Social de Tungurahua*, 1–4.

Sánchez, D. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero* (Quinta). Multiletras Editores Ltda.

Sergio Miguel Guerrero López. (2020). *Ceniza de bagazo de caña de azúcar en el concreto. Exploración preliminar del potencial de uso de la ceniza del valle del Chira*. 1–199.

Solórzano-Sánchez, J. D. (2014). Estudio de las cenizas de fondo de caldera de bagazo y/o carbón como sustituto del Clinker y/o adición para mortero por medio de tratamiento químico alcalino. *Ingeniería de Materiales, Ingeniero*, 49.

Técnica, N. (1977). *INEN 295. Ladrillos cerámicos. Determinación de la Resistencia a la flexión*.

Thomas, S. (2003). *Límites de Attemberg*. 1–28.

Trupal. (2020). *Bagazo de caña de azúcar, materia prima para la producción de empaques*. Trupal. https://www.trupal.com.pe/blog/bagazo-de-cana-de-azucar-materia-prima-para-la-produccion-de-empaques-2/

Valencia, E. (2009). *Morfología y Fses Fenológicas del cultivo de caña de azúcar*. Scribd.

Vidal, D. V, Torres, J., & González, L. O. (2014). Ceniza De Bagazo De Caña Para Elaboración De Materiales De Construcción: Estudio Preliminar. *MOMENTO - Revista de Física*, *0*(48E), 14–23.

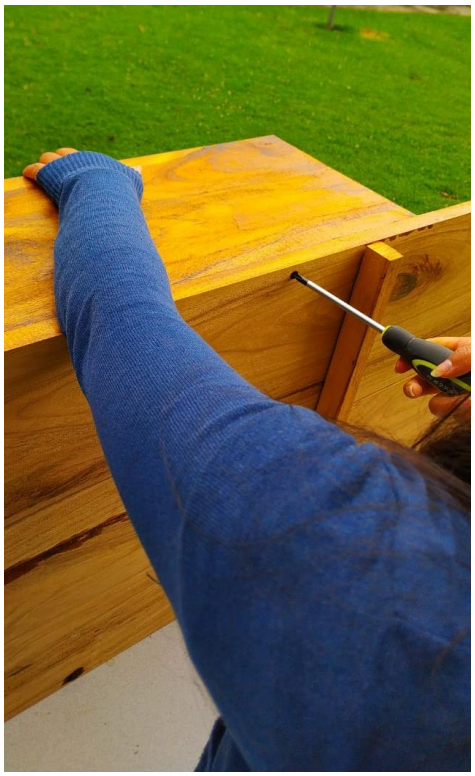
Zambrano, P. (2017). *Caña de azúcar*. Agropedia. https://agrotendencia.tv/agropedia/el-cultivo-de-la-cana-de-azucar/

Anexos

Anexo 1: Construcción del sistema de vibración

















Anexo 2: Ficha técnica de la melaza Ingenio Azucarero del Norte

Ingenio Azucarero del Norte

FICHA TÉCNICA

FECHA: JULIO 2021

DESCRIPCIÓN: Es el residuo de consistencia líquida espesa o miel final de la cristalización de azúcar de caña.

PRODUCTO: MELAZA

ESPECIFICACIONES

ORGANOLÉPTICAS

COLOR	CAFÉ OBSCURO
SABOR	DULCE LIGERAMENTE AMARGO
AROMA	CARACTERÍSTICO
APARIENCIA	LÍQUIDO VISCOSO

FÍSICO QUÍMICAS

ANÁLISIS	UNIDAD	MÉTODO	MUESTRA
BRIX	° BRIX	ICUMSA GS4-13	88,25
SACAROSA	%	ICUMSA GS4-14	40,80
DENSIDAD	g/cm^3		1,47
CENIZAS	%	PEE-LASA-FQ-10c	14,2*
PROTEINA	%	PEE-LASA-FQ-11	0,7*
AZUCARES REDUCTORES	%	HPLC	10,6*
AZUCARES TOTALES	%	HPLC	51,40
HIDRATOS DE CARBONO	%	CÁLCULO	70,6*
ENERGIA	kcal/100g	CÁLCULO	276,4*
CALCIO	mg/100g	ABSORCIÓN ATÓMICA	881,336*
SODIO	mg/100g	ABSORCIÓN ATÓMICA	54,936*
FOSFORO	mg/100g	ABSORCIÓN ATÓMICA	20,65*
SOLUBILIDAD EN AGUA:	Soluble		
PRESIÓN DE VAPOR mm Hg a 20° C	44° C		
TEMP. DE EBULLICIÓN:	90° C		

ENVASE:
Granel: La melaza se despacha ya sea en canecas plásticas o tanqueros, dependiendo del requerimiento o necesidades del cliente.

APLICACIONES
Por a su alto contenido de hidratos de carbono y minerales, se puede emplear principalmente como suplemento alimenticio para animales, obtención de alcohol, aglutinante, entre otros.

ALMACENAMIENTO
Mantengase en un lugar fresco y seco, a temperatura ambiente. Alejados de fuentes contaminantes, calor, luz y humedad. Se recomienda la utilización del equipo adecuado de seguridad, guantes, botas y ropa de trabajo.

OBSERVACIONES: Análisis cuyos resultados tiene asterisco son realizados en Laboratorio Externo una vez por año.

JEFE DE LABORATORIO