

Universidad de Costa Rica
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**Diseño de mezcla de concreto para fabricar
semi-automáticamente bloques de mampostería a escala reducida 1/4**

Trabajo de Graduación

Que para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil

Presenta:

José Andrés Esquetini Fallas

Directora del proyecto de graduación:

Ing. Andrea Ramírez Villalba

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

Costa Rica

Noviembre, 2021

Hoja de Aprobación



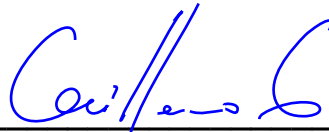
Ing. Andrea Ramírez Villalba

Directora



Ing. Alejandro Navas Carro, M.Sc.

Asesor



Ing. Guillermo González Beltrán, Ph.D.

Asesor



José Andrés Esquetini Fallas

Estudiante

Derechos de Propiedad Intelectual

Fecha: 1 de noviembre del 2021

El suscrito, **José Andrés Esquetini Fallas**, cédula 1-1668-0642, estudiante de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, número de carné **B52558**, manifiesta que es autor del Proyecto Final de Graduación "**Diseño de mezcla de concreto para fabricar semi-automáticamente bloques de mampostería a escala reducida 1/4**", bajo la Dirección de la **Ing. Andrea Ramírez Villalba**, quien en consecuencia tiene derechos compartidos sobre los resultados de esta investigación.

Asimismo, hago traspaso de los derechos de utilización del presente trabajo a la Universidad de Costa Rica, para fines académicos: docencia, investigación, acción social y divulgación.

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

Dedicatoria

A Dios por todas las oportunidades que me ha dado y por los papás que me dio.

A mis papás, Oscar y María Laura, sin ellos no sería la persona que soy hoy, siempre me han apoyado y me han dado la mejor educación posible.

Agradecimientos

A mis papás que me ayudaron siempre que pudieron, me motivaron a seguir avanzando, demostraron interés por los resultados que iba obteniendo y hasta acomodaron su horario del día para llevarme y traerme del laboratorio.

A mi novia, Dani, que me ayudó en todo lo que pudo para que mi investigación fuera lo mejor posible, desde realizar la propuesta de tesis juntos hasta practicar la presentación para la defensa.

A mis hermanos Luciana, Sofía, Esteban, José Pablo, Anamaría, Marijón, Javi, Pazita y Migue que me motivaron de distintas maneras a concluir la investigación, preguntándome cómo me fue en el laboratorio, asombrándose por los bloques y hasta con bromas sobre lo extensa que se hizo la investigación.

A la Ing. Andrea Ramírez que me acompañó en toda la investigación que se inició desde que inicié mi asistencia en el LanammeUCR. Que me enseñó mucho en todos estos años, que me motivó en los momentos más complicados y se volvió más que mi directora de tesis, en mi amiga.

Al Ing. Alejandro Navas y al Ing. Guillermo González que me ayudaron con todo su conocimiento y experiencia en las investigaciones de laboratorio y la escala reducida.

A mis compañeros de carrera y profesores, que me acompañaron en todo el proceso universitario.

A mis amigos del colegio que me apoyaron sin saber mucho de lo que estaba investigando.

Tabla de contenidos

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Justificación	1
1.1.1	Problema específico.....	1
1.1.2	Importancia.....	2
1.1.3	Antecedentes teóricos y prácticos	2
1.2	Objetivos.....	4
1.2.1	Objetivo general	4
1.2.2	Objetivos específicos	4
1.3	Marco teórico.....	5
1.4	Delimitación del problema	12
1.4.1	Alcance	12
1.4.2	Limitaciones	13
1.5	Metodología.....	13
1.5.1	Primera etapa: Fase teórica.....	14
1.5.2	Segunda etapa: Fase experimental	14
1.5.3	Tercera etapa: Fase de análisis.....	16
2	CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES.....	17
2.1	Cemento	17
2.1.1	INTE C139:2018 Determinación de la consistencia normal del cemento hidráulico (ASTM C187-16).....	18
2.1.2	INTE C137:2019 MOD Determinación del tiempo de fragua de un cemento hidráulico por medio de la aguja de Vicat (ASTM C191-19).....	20

2.1.3	INTE C141:2018 Determinación de la densidad del cemento hidráulico (ASTM C188-17)	22
2.1.4	INTE C57:2018 Resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico. Usando especímenes cúbicos de 50mm (ASTM C109-20)	24
2.2	Agregado	29
2.2.1	INTE C59:2015 Determinación de las impurezas en el agregado fino para concreto (ASTM C40/C40M-20)	30
2.2.2	INTE C69:2016 Determinación de la densidad relativa (gravedad específica), y la absorción del agregado fino (ASTM C128-15)	32
2.2.3	INTE C58:2013 Método de ensayo para determinar la densidad masiva (peso unitario) y los vacíos en el agregado (ASTM C29/C29M-20a)	34
2.2.4	INTE C49:2018 Determinación por lavado del material que pasa por el tamiz 75µm (Nº200) en agregados minerales (ASTM C117-17)	36
2.2.5	INTE C46:2016 Concreto. Análisis granulométrico en tamices de agregado fino y grueso. Método de ensayo (ASTM C136/C136M-19)	37
2.3	Agua	39
3	Diseño de mezcla	40
3.1	Agregado utilizado	40
3.2	Dosificación de materiales en la mezcla	40
3.3	Procedimiento de mezclado del concreto	42
4	FABRICACIÓN DE BLOQUES	44
4.1	Procedimiento de moldeo de los bloques	44
4.1.1	Método 1 de fabricación de bloques	44
4.1.2	Método 2 de fabricación de bloques	46
4.2	Curado	46

4.3	Capeo	46
4.4	Falla de los bloques	47
5	CARACTERÍSTICAS DE LA MÁQUINA	49
5.1	Descripción del bloque y molde.....	49
5.2	Descripción de piezas importantes en la máquina	50
5.3	Preparación de la máquina	53
5.4	Funcionamiento de la máquina	55
5.4.1	Aire comprimido.....	55
5.4.2	Vibrado	55
5.4.3	Tope mecánico	56
5.5	Limpieza.....	57
5.5.1	Piezas fijas	58
5.5.2	Piezas móviles	59
5.6	Variables de la máquina	61
5.6.1	Vibradores.....	61
5.6.2	Estampador	61
6	ANÁLISIS DE RESULTADOS	62
6.1	Utilización de curvas de diseño de Castro, 2005.....	62
6.2	Análisis de las curvas de diseño	62
6.3	Análisis de resistencia según el porcentaje de agregado	64
6.4	Análisis del efecto de la densidad en la resistencia del bloque	72
6.5	Análisis de la reproducibilidad de las mezclas	75
6.6	Análisis de eficiencia	77

6.7	Análisis de otros factores.....	79
6.7.1	Trabajabilidad en las mezclas	79
6.7.2	Deformación en la base	82
6.7.3	Agujeros y planos de falla.....	85
7	Análisis de los patrones de falla.....	88
8	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	91
8.1	Conclusiones.....	91
8.2	Recomendaciones.....	93
9	FUENTES DE CONSULTA	96
10	APÉNDICES.....	A-1

Tabla de figuras

Figura 1. Distintos tipos de colocación de la mampostería.....	6
Figura 2. Bloque tradicional de 20x20x40 cm.....	6
Figura 3. Teknoblock, bloque modular de Productos de Concreto	7
Figura 4. Bocetos de modelos de falla para prismas de concreto.....	9
Figura 5. Esquema de máquina de bloques a escala reducida.....	10
Figura 6. Diagrama de flujo de la metodología.....	13
Figura 7. Prueba en curso de tiempo de fragua	21
Figura 8. Muestra en tabla de flujo que no cumple con la norma	24
Figura 9. Resistencia a la compresión de los cubos de mortero Fuerte	28
Figura 10. Resistencia a la compresión de los cubos de mortero Ultra	28
Figura 11. Frascos con agregado recién preparados	30
Figura 12. Vidrio de color estándar	31
Figura 13. Agregado libre de impurezas orgánicas.....	31
Figura 14. Agregado con mucha humedad	33
Figura 15. Agregado en condición saturado superficie seca	33
Figura 16. Agregado que se ha secado más de la cuenta	33
Figura 17. Análisis granulométrico de arena de río con lavado.....	38
Figura 18. Análisis granulométrico de arena de río sin lavado.....	38
Figura 19. Proceso del diseño de mezcla	42
Figura 20. Herramienta utilizada para introducir mezcla en el molde	45
Figura 21. Introducir material por el método 1.....	45
Figura 22. Bloques recién capeados esperando la fragua	47

Figura 23. Demostración de placas utilizadas para la falla	48
Figura 24. Dimensiones externas del bloque de mampostería a escala reducida 1/4	49
Figura 25. Diseño de la celda de los bloques.....	49
Figura 26. Máquina de bloques de concreto a escala reducida	50
Figura 27. Pistones neumáticos de la máquina.....	51
Figura 28. Placas de acrílico utilizadas.....	51
Figura 29. Molde con su numeración.....	52
Figura 30. Tope mecánico para garantizar altura del bloque.....	52
Figura 31. Botonera de control para la máquina.....	53
Figura 32. Zona donde se engrasa la máquina	55
Figura 33. Ubicación de vibradores en el molde	56
Figura 34. Solución al problema de altura del tope mecánico.....	57
Figura 35. Limpieza del molde con la mecha.....	58
Figura 36. Limpieza del estampador con cepillo de dientes.....	59
Figura 37. Limpieza de agujero de los núcleos con cuchilla	60
Figura 38. Núcleos limpios	60
Figura 39. Curva de diseño de mezcla método 1	63
Figura 40. Curva de diseño de mezcla método 2	64
Figura 41. Comparación de capacidad en cada diseño	66
Figura 42. Curva de resistencia con 45% de agregado.....	67
Figura 43. Curva de resistencia con 50% de agregado.....	67
Figura 44. Curva de resistencia con 55% de agregado.....	68
Figura 45. Curva de resistencia con 60% de agregado.....	68

Figura 46. Comparación de capacidad en cada diseño	69
Figura 47. Curva de resistencia con 45% de agregado método 2	70
Figura 48. Curva de resistencia con 50% de agregado método 2	71
Figura 49. Curva de resistencia con 55% de agregado método 2	71
Figura 50. Curva de resistencia con 60% de agregado método 2	72
Figura 51. Relación de densidad y resistencia para bloques de menor altura	73
Figura 52. Comparación entre la densidad y resistencia de los bloques.....	74
Figura 53. Relación de masa y resistencia para bloques con altura corregida	74
Figura 54. Comparación entre la densidad y la resistencia de los bloques con altura corregida	75
Figura 55. Reproducibilidad del método 1.....	76
Figura 56. Reproducibilidad del método 2.....	77
Figura 57. Mezcla seca de bloques de tanda 3 diseño A0*	80
Figura 58. Mezcla muy seca que no es consolidada por vibración diseño C0*	80
Figura 59. Mezcla fluida bloques de tanda 1 diseño A3*	81
Figura 60. Mezcla fluida bloques de tanda 2 diseño B3	81
Figura 61. Mezcla con buena trabajabilidad bloques de tanda 2 diseño B1	82
Figura 62. Mejor mezcla bloques de la tanda 2 diseño C3	82
Figura 63. Deformación en la base diseño A1	83
Figura 64. Deformación en la base tanda 2 diseño A3	83
Figura 65. Deformación en la base B0 a) Deformación interna en la base, b) Sin deformación en la base, c) Deformación externa en la base.....	84
Figura 66. Deformación en la base de tanda 1 diseño B0	84
Figura 67. Deformación en la base de tanda 1 diseño B1	84

Figura 68. Deformación en la base tanda 2 diseño B2.....	85
Figura 69. Agujeros bloques de tanda 1 diseño A2	85
Figura 70. Agujero bloque de tanda 3 diseño A2	85
Figura 71. Vacíos bloques de tanda 1 diseño B2.....	86
Figura 72. Planos de falla y agujeros en la tanda 1 diseño C0.....	86
Figura 73. Agujeros bloques de la tanda 1 diseño C1.....	86
Figura 74. Huecos en bloques de tanda 1 diseño C2.....	87
Figura 75. Hueco en bloque de tanda 3 diseño C2.....	87
Figura 76. Ejemplos de falla de separación de paredes	88
Figura 77. Evidencia de grietas a través de los vacíos de los bloques	89
Figura 78. Falla en la zona debajo del soporte del núcleo.....	90
Figura 79. Comparación de la apariencia entre tandas 1 (a) y 3 (b) del diseño A0	B-2
Figura 80. Bloques con deformación en la base, diseño A1.....	B-5
Figura 81. Bloques de tanda 1 diseño A2.....	B-7
Figura 82. Bloques de tanda 2 diseño A2.....	B-7
Figura 83. Bloques de tanda 3 diseño A2.....	B-7
Figura 84. Desplome de bloque diseño A3	B-10
Figura 85. Bloques de tanda 1 diseño A3.....	B-10
Figura 86. Bloques de tanda 2 diseño A3.....	B-10
Figura 87. a) Bloques con deformación interna en la base, b) Bloques sin deformación en la base, c) Bloques con deformación externa en la base.....	B-12
Figura 88. Bloques de tanda 1 diseño B0.....	B-12
Figura 89. Bloques de tanda 2 diseño B0.....	B-12
Figura 90. Bloques de tanda 1 diseño B1.....	B-14

Figura 91. Bloques de tanda 2 diseño B1	B-15
Figura 92. Bloques de tanda 1 diseño B2	B-16
Figura 93. Bloques de tanda 2 diseño B2	B-17
Figura 94. Deformación de la base tanda 1 diseño B2	B-17
Figura 95. Deformación de la base tanda 2 diseño B2	B-17
Figura 96. Bloques aplastados por error con el panel de control	B-18
Figura 97. Bloques dañados por disminución en la presión.....	B-18
Figura 98. Bloques de tanda 1 diseño B3	B-19
Figura 99. Bloques de tanda 2 diseño B3	B-19
Figura 100. Bloques de tanda 1 diseño C0.....	B-20
Figura 101. Bloques de tanda 2 diseño C0.....	B-21
Figura 102. Defectos en la tanda 1 diseño C0	B-21
Figura 103. Bloques de la tanda 1 diseño C1	B-22
Figura 104. Bloques de la tanda 2 diseño C1	B-23
Figura 105. Bloques de la tanda 1 diseño C2	B-25
Figura 106. Bloques de la tanda 2 diseño C2	B-25
Figura 107. Bloques de la tanda 3 diseño C2	B-25
Figura 108. Huecos en bloques de tanda 1 diseño C2.....	B-26
Figura 109. Huevo en bloque de tanda 3 diseño C2.....	B-26
Figura 110. Bloques de la tanda 1 diseño C3	B-27
Figura 111. Bloques de la tanda 2 diseño C3	B-28
Figura 112. Huevo en zona superior de pared interna de diseño C3	B-28
Figura 113. Bloques de la tanda 1 diseño D0	B-29

Figura 114. Bloques de la tanda 2 diseño D0	B-30
Figura 115. Bloques de la tanda 1 diseño D1	B-31
Figura 116. Bloques de la tanda 2 diseño D1	B-32
Figura 117. Defectos en el bloque 1 de la tanda 1 diseño D1.....	B-32
Figura 118. Plano de falla bloque 2 de tanda 1 diseño D1	B-32
Figura 119. Bloques con huecos en su pared posterior tanda 1 diseño A0*	B-33
Figura 120. Bloques de tanda 2 diseño A0*	B-33
Figura 121. Bloques de tanda 3 diseño A0*	B-33
Figura 122. Bloques de la tanda 1 diseño A1*.....	B-34
Figura 123. Bloques de la tanda 3 diseño A1*.....	B-34
Figura 124. Bloques de tanda 1 diseño A2*	B-35
Figura 125. Bloques de tanda 2 diseño A2*	B-36
Figura 126. Bloques de tanda 3 diseño A2*	B-36
Figura 127. Bloques de tanda 1 diseño A3*	B-37
Figura 128. Bloques de tanda 2 diseño A3*	B-38
Figura 129. Bloques de tanda 2 diseño B0*	B-39
Figura 130. Bloques de tanda 1 diseño B1*	B-40
Figura 131. Bloques de tanda 2 diseño B1*	B-41
Figura 132. Agujero en el bloque 3 diseño B1*	B-41
Figura 133. Bloques de tanda 1 diseño B2*	B-42
Figura 134. Bloques de tanda 2 diseño B2*	B-43
Figura 135. Bloques de tanda 1 diseño B3*	B-45
Figura 136. Bloques de tanda 2 diseño B3*	B-45

Figura 137. Mezcla muy seca que no es consolidada por vibración diseño C0*	B-46
Figura 138. Bloques tanda 1 diseño C0*	B-46
Figura 139. Bloques tanda 2 diseño C0*	B-46
Figura 140. Pasta de diseño C1* que no permite pasar al estampador	B-47
Figura 141. Bloques de tanda 1 diseño C1*	B-47
Figura 142. Bloques de tanda 2 diseño C1*	B-47
Figura 143. Bloques de tanda 1 diseño C2*	B-48
Figura 144. Bloques de tanda 2 diseño C2*	B-48
Figura 145. Bloques de tanda 1 diseño C3*	B-51
Figura 146. Bloques de tanda 2 diseño C3*	B-51
Figura 147. Bloques de tanda 3 diseño C3*	B-51
Figura 148. Bloques de tanda 1 diseño D0*	B-52
Figura 149. Bloques de tanda 2 diseño D0*	B-52
Figura 150. Consistencia de los bloques D0*	B-53
Figura 151. Bloques de tanda 1 diseño D1*	B-54
Figura 152. Bloques de tanda 2 diseño D1*	B-54

Tabla de cuadros

Cuadro 1. Estructura de trabajo de la máquina de bloques de escala reducida	11
Cuadro 2. Cantidad de ensayos a realizar en el cemento.....	18
Cuadro 3. Consistencia normal cemento Fuerte.....	19
Cuadro 4. Consistencia normal cemento Ultra	19
Cuadro 5. Tiempo de fragua del cemento Fuerte.....	21
Cuadro 6. Gravedad específica del cemento Fuerte	23
Cuadro 7. Gravedad específica del cemento Ultra.....	23
Cuadro 8. Cantidad de material para cubos de mortero Fuerte	24
Cuadro 9. Cantidad de material para cubos de mortero Ultra.....	25
Cuadro 10. Carga alcanzada por los cubos de mortero en N, cemento Fuerte.....	25
Cuadro 11. Carga alcanzada por los cubos de mortero en N, cemento Ultra.....	26
Cuadro 12. Resistencia de los cubos de cemento Fuerte en MPa.....	26
Cuadro 13. Resistencia de los cubos de cemento Ultra en MPa.	27
Cuadro 14. Cantidad de ensayos a realizar en el agregado.....	29
Cuadro 15. Resultados de ensayo de gravedad específica y absorción del agregado	34
Cuadro 16. Propiedades del agregado envarillado	35
Cuadro 17. Propiedades del agregado suelto	35
Cuadro 18. Resultados de la determinación del material más fino que 75µm.....	36
Cuadro 19. Módulo de finura de la arena de río	39
Cuadro 20. Diseños de mezcla realizados	65
Cuadro 21. Diseños de mezcla realizados	69
Cuadro 22. Porcentaje de eficiencia del método 1	78

Cuadro 23. Porcentaje de eficiencia del método 2	79
Cuadro 24. Correlación de masa y resistencia a compresión diseño A0	B-1
Cuadro 25. Resistencia a compresión de la tanda 1 diseño A0	B-1
Cuadro 26. Resistencia a compresión de la tanda 2 diseño A0	B-1
Cuadro 27. Resistencia a compresión de la tanda 3 diseño A0	B-2
Cuadro 28. Correlación de masa y resistencia a compresión diseño A1	B-4
Cuadro 29. Resistencia a compresión de la tanda 1 diseño A1	B-4
Cuadro 30. Resistencia a compresión de la tanda 2 diseño A1	B-4
Cuadro 31. Resistencia a compresión de la tanda 3 diseño A1	B-5
Cuadro 32. Correlación de masa y resistencia a compresión diseño A2	B-6
Cuadro 33. Resistencia a compresión de la tanda 1 diseño A2	B-6
Cuadro 34. Resistencia a compresión de la tanda 2 diseño A2	B-6
Cuadro 35. Resistencia a compresión de la tanda 3 diseño A2	B-7
Cuadro 36. Correlación de masa y resistencia a compresión diseño A3	B-9
Cuadro 37. Resistencia a compresión de la tanda 1 diseño A3	B-9
Cuadro 38. Resistencia a compresión de la tanda 2 diseño A3	B-9
Cuadro 39. Resistencia a compresión diseño B0	B-11
Cuadro 40. Resistencia a compresión de la tanda 1 diseño B0	B-11
Cuadro 41. Resistencia a compresión de la tanda 2 diseño B0	B-11
Cuadro 42. Correlación de masa y resistencia a compresión diseño B1	B-14
Cuadro 43. Resistencia a compresión de la tanda 1 diseño B1	B-14
Cuadro 44. Resistencia a compresión de la tanda 2 diseño B1	B-14
Cuadro 45. Correlación de masa y resistencia a compresión diseño B2	B-16

Cuadro 46. Resistencia a compresión de la tanda 1 diseño B2	B-16
Cuadro 47. Resistencia a compresión de la tanda 2 diseño B2	B-16
Cuadro 48. Resistencia a compresión diseño B3	B-18
Cuadro 49. Resistencia a compresión de la tanda 2 diseño B3	B-18
Cuadro 50 Correlación de masa y resistencia a compresión diseño C0	B-20
Cuadro 51. Resistencia a compresión de la tanda 1 diseño C0	B-20
Cuadro 52. Resistencia a compresión de la tanda 2 diseño C0	B-20
Cuadro 53. Correlación de masa y resistencia a compresión diseño C1	B-22
Cuadro 54. Resistencia a compresión de la tanda 1 diseño C1	B-22
Cuadro 55. Resistencia a compresión de la tanda 2 diseño C1	B-22
Cuadro 56. Correlación de masa y resistencia a compresión diseño C2	B-24
Cuadro 57. Resistencia a compresión de la tanda 1 diseño C2	B-24
Cuadro 58. Resistencia a compresión de la tanda 2 diseño C2	B-24
Cuadro 59. Resistencia a compresión de la tanda 3 diseño C2	B-25
Cuadro 60. Correlación de masa y resistencia a compresión diseño C3	B-27
Cuadro 61. Resistencia a compresión de la tanda 1 diseño C3	B-27
Cuadro 62. Resistencia a compresión de la tanda 2 diseño C3	B-27
Cuadro 63. Correlación de masa y resistencia a compresión diseño D0.....	B-29
Cuadro 64. Resistencia a compresión de la tanda 1 diseño D0.....	B-29
Cuadro 65. Resistencia a compresión de la tanda 2 diseño D0.....	B-29
Cuadro 66. Correlación de masa y resistencia a compresión diseño D1.....	B-31
Cuadro 67. Resistencia a compresión de la tanda 1 diseño D1.....	B-31
Cuadro 68. Resistencia a compresión de la tanda 2 diseño D1.....	B-31

Cuadro 69. Correlación de masa y resistencia a la compresión diseño A2*.....	B-35
Cuadro 70. Resistencia a compresión de la tanda 1 diseño A2*	B-35
Cuadro 71. Resistencia a compresión de la tanda 3 diseño A2*	B-35
Cuadro 72. Correlación de masa y resistencia a la compresión diseño A3*.....	B-37
Cuadro 73. Resistencia a compresión de la tanda 1 diseño A3*	B-37
Cuadro 74. Resistencia a compresión de la tanda 2 diseño A3*	B-37
Cuadro 75. Resistencia a compresión diseño B1*	B-40
Cuadro 76. Resistencia a compresión de la tanda 1 diseño B1*	B-40
Cuadro 77. Resistencia a compresión de la tanda 2 diseño B1*	B-40
Cuadro 78. Correlación de masa y resistencia a compresión diseño B2*	B-42
Cuadro 79. Resistencia a compresión de la tanda 1 diseño B2*	B-42
Cuadro 80. Resistencia a compresión de la tanda 2 diseño B2*	B-42
Cuadro 81. Resistencia a compresión diseño B3*	B-44
Cuadro 82. Resistencia a compresión de la tanda 1 diseño B3*	B-44
Cuadro 83. Resistencia a compresión de la tanda 2 diseño B3*	B-44
Cuadro 84. Correlación de masa y resistencia a compresión diseño C2*	B-48
Cuadro 85. Resistencia a compresión de la tanda 2 diseño C2*	B-48
Cuadro 86. Correlación de masa y resistencia a compresión diseño C3*	B-50
Cuadro 87. Resistencia a compresión de la tanda 1 diseño C3*	B-50
Cuadro 88. Resistencia a compresión de la tanda 2 diseño C3*	B-50
Cuadro 89. Resistencia a compresión de la tanda 3 diseño C3*	B-51
Cuadro 90. Correlación de masa y resistencia a compresión diseño D0*	B-52
Cuadro 91. Resistencia a compresión de la tanda 2 diseño D0*	B-52

Cuadro 92. Masa de los bloques con menor altura.....	C-1
Cuadro 93. Masa de los bloques con altura corregida	C-2
Cuadro 94. Desviación estándar bloques método 1.....	D-1
Cuadro 95. Desviación estándar bloques método 2.....	D-2

Esquetini Fallas, José Andrés

Diseño de mezcla de concreto para fabricar semi-automáticamente bloques de mampostería a escala reducida 1/4.

Proyecto de Graduación – Ingeniería Civil – San José, Costa Rica

J. Esquetini F., 2021

xix, 98, [59]h; ils. Col. – 25 refs.

Resumen

Esta investigación busca calibrar la máquina semi-automática de bloques que se fabricó en el Laboratorio de Escala Reducida del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica (LanammeUCR). Se fabricó bloques a escala reducida 1/4 con distintos pares de % de agregado y relación agua/cemento en busca de diseños con una resistencia mayor a la establecida en el Código Sísmico de Costa Rica de 133 Kg/cm² a los 28 días.

Se elaboró un procedimiento de mezclado que genera una mezcla homogénea, además se definieron dos procedimientos de fabricación que permiten trabajar con distintos diseños de mezcla en los que se busca desmoldar en pocos minutos y que los bloques no se desplomen, al mismo tiempo que se llena bien todo el molde. Las variables mecánicas consideradas son la compresión y los segundos de vibrado, esto se explica detalladamente en cada procedimiento.

Los resultados obtenidos demuestran que si es posible utilizar la máquina para producir bloques con resistencias muy superiores a la establecida en el Código. Que la cantidad de agregado aumenta la relación agua/cemento necesaria para una buena trabajabilidad. Se descubrió que la densidad del bloque y que sus paredes estén bien aplomadas influye en mayor grado que las variables del diseño de mezcla. Se descubrió que la configuración actual de los vibradores en la máquina perjudica a los bloques del medio ya que no consolida la mezcla en esa zona y por lo tanto existe diferencia en la capacidad de los bloques de los extremos y los del centro del molde.

BLOQUES DE MAMPOSTERÍA, ESCALA REDUCIDA, RELACIÓN A/C, % AGREGADO, VIBRACIÓN

Ing. Andrea Ramírez Villalba

Escuela de Ingeniería Civil

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Justificación

1.1.1 Problema específico

La mampostería es uno de los sistemas constructivos más utilizados en el país, tanto para vivienda unifamiliar como para edificaciones pequeñas y medianas. Por esta razón se realizan muchos estudios en este tema, sin embargo, cuando se habla de mampostería en escala reducida, la investigación es escasa.

Esto se debe al difícil proceso de fabricación de bloques a mano, el cual requiere de la colocación y compactación de varias capas de mezcla dentro del molde, esperar a que adquieran una resistencia inicial suficiente para ser desmoldados y realizar el desmolde con mucho cuidado para evitar destruir los bloques ya listos. Todo este proceso es de varias horas y la cantidad de bloques que se puede hacer por bachada depende de la cantidad de moldes en buen estado. Debido a esto los estudiantes que realizan investigaciones en escala reducida utilizan más de la mitad del tiempo dedicado al proyecto en la fabricación de bloques y no en el análisis de su comportamiento que debería de ser la parte central de la investigación.

Utilizar la implementación de la máquina de bloques a escala reducida del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica, a partir de ahora conocido como LanammeUCR, reduciría los tiempos de elaboración de los especímenes considerablemente, ya que las bachadas pasan de tardar un par de horas a menos de 10 minutos, teniendo bloques listos para el proceso de curado 12 veces más rápido de lo que duraría el proceso manual (tomando en cuenta que se dure 2 horas en la elaboración de los bloques a mano). Esto permitiría la ejecución de investigaciones en mampostería que antes no se han podido realizar debido a la gran cantidad de tiempo que es necesario invertir en la fabricación.

Actualmente los bloques que se elaboran en la máquina son en escala 1:6 y no son representativos de los bloques a escala natural debido a que, para poder desmoldar se requiere la utilización de mezclas más secas, que permiten ser desmoldadas al instante, sin embargo, dichas mezclas no tienen la resistencia especificada en el Código Sísmico de Costa Rica (CSCR,

2010-14) de 133 kg/cm^2 , a diferencia de los bloques a escala realizados manualmente que se elaboran con mezclas más fluidas y menos finas

Al utilizar mezclas más fluidas, si se logra llegar a la resistencia especificada anteriormente, pero, al realizar el desmolde de los bloques, estos no tienen la estabilidad necesaria y se deforman considerablemente en su base, esto hace que su geometría no sea prismática y por lo tanto, no representan adecuadamente a un bloque de escala natural.

Por lo tanto, se busca elaborar curvas de diseño de mezcla para obtener bloques de concreto a escala reducida que tengan la resistencia especificada en el CSCR10-14 utilizando un molde a escala 1/4.

1.1.2 Importancia

La utilización de la escala reducida en las investigaciones de mampostería resulta muy beneficiosa debido a las ventajas que tiene sobre los modelos a escala natural.

La principal es la reducción del costo económico tanto en materiales como en mano de obra.

No es necesaria mano de obra especializada para la construcción de los modelos de escala reducida, ya que el investigador con un corto periodo de aprendizaje puede elaborar adecuadamente la estructura, mientras que, los modelos a escala natural necesitan de una persona especializada en la construcción de dicho sistema.

En Costa Rica la mampostería es de los sistemas constructivos más utilizados para vivienda o edificaciones de baja altura. Debido a esto, el estudio de su comportamiento es de gran importancia para el país. La puesta a punto de la máquina semi-automática de bloques permitirá desarrollar una gran cantidad de investigaciones que en este momento no pueden realizarse por la cantidad de tiempo que se debe dedicar a su fabricación.

1.1.3 Antecedentes teóricos y prácticos

En el LanammeUCR, se han realizado varias investigaciones para abordar este problema, los cuales implican varias áreas de la ingeniería, no solo la estructural. A continuación, se presentan algunos de estos proyectos.

En el 2010 se realizó el "Diseño de una máquina que elabore bloques de concreto a escala reducida para el Laboratorio de Modelos Estructurales del LanammeUCR" (Angulo & González, 2010); dicha máquina fue construida en el Lanamme, se encuentra en el Laboratorio de Estructuras a Escala Reducida y es el equipo a utilizar para optimizar la fabricación de bloques.

En el 2015 se realizó la "Calibración del proceso de diseño y fabricación de bloques de mampostería en escala reducida utilizando equipo automatizado" (Salas, 2015), esta investigación se realizó con bloques a escala 1:6, sin embargo, no se logró llegar a un diseño adecuado, por lo que la máquina continúa sin aprovecharse.

Además, se han realizado prácticas dirigidas de estudiantes del Instituto Tecnológico de Costa Rica, con las que se ha avanzado en el diseño de mezcla adecuado para la máquina, pero no se han obtenido los resultados esperados. Estas fueron elaboradas en el primer y segundo semestre del año 2017. Se realizó la "Normalización de los parámetros operativos para la máquina de bloques de concreto a escala reducida 1/6" (Bartels, 2017) y posteriormente "La evaluación de parámetros en la fabricación de bloques de mampostería a escala" (Padilla, 2017).

Con respecto al diseño de mezcla se han realizado investigaciones para utilizar en escala reducida, pero moldeando el bloque a mano, estas se han intentado utilizar como base para el diseño de la mezcla de la máquina, sin embargo, no ha dado buenos resultados. La primera que se realizó fue "Mezclas de microconcreto para modelos estructurales" (Espinoza, 1991) luego se realizó la "Optimización del proceso de diseño de mezcla y fabricación de bloques de mampostería en escala reducida" (Castro, 2005).

Espinoza realizó curvas de diseño para distintos elementos estructurales, donde varía la relación agua cemento y el contenido de arena, fija los procedimientos para elaborar dichos elementos y hace un estudio comparativo de las diferentes mezclas con el fin de evaluar la capacidad de realizar un modelado de concreto más confiable.

Castro revisó el proceso de fabricación de bloques y propuso una metodología para optimizar la fabricación de bloques de mampostería en escala reducida, obteniendo curvas de diseño de mezcla.

En el país se han realizado investigaciones en mampostería a escala reducida 1/6, las cuales se mencionan en este trabajo, sin embargo, a nivel internacional son más frecuente las investigaciones a escala 1/4.

Para esta investigación, se decidió utilizar escala 1/4, debido a los resultados obtenidos anteriormente en la utilización de la máquina de bloques a escala reducida del Lanamme UCR. Tanto en la tesis de Salas como en los proyectos de Padilla y Bartels se ha observado que los bloques fabricados semi-automáticamente a escala 1/6 no tienen el desempeño esperado. Una de las conclusiones que se ha tomado es que se tiene un problema de escala, debido a esto es que se decidió estudiar el comportamiento con un bloque más grande que tenga menores problemas en su funcionamiento, de esta forma, surge la idea de trabajar con escala 1/4.

La máquina a utilizar es la misma que fabrica los bloques de escala 1/6, lo único que se cambia sería el molde y el estampador.

1.2 **Objetivos**

1.2.1 Objetivo general

Diseñar mezclas de concreto que puedan ser utilizadas en la máquina semi-automática de bloques a escala 1/4 para obtener la resistencia especificada en el Código Sísmico de Costa Rica.

1.2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar los materiales utilizados en el concreto a escala reducida mediante ensayos de laboratorio que se encuentren normados por la ASTM.
- Calibrar la máquina semi-automática de bloques de concreto para utilizar un molde a escala reducida de 1/4 que represente adecuadamente las propiedades de un bloque a escala natural.
- Realizar ensayos de propiedades mecánicas a los bloques según la norma ASTM C140/C140M-18a.
- Definir el procedimiento de elaboración de los bloques que brinde los mejores resultados en cuanto a su acabado y resistencia.

1.3 Marco teórico

La mampostería es un sistema constructivo de elementos estructurales y no estructurales que utiliza como base pequeñas unidades de construcción, tales como bloques o ladrillos, unidas entre sí con o sin mortero, concreto de relleno u otro método de unión aceptado (International Code Council [ICC], 2000). Entre los tipos de mampostería se pueden distinguir dos: integral y confinada. La mampostería integral consiste únicamente en paredes de mampostería reforzada; la mampostería confinada consiste en paños de mampostería confinados por vigas medianeras y columnas de concreto. (Navas, 2007)

La mampostería también se entiende como la elaboración de estructuras mediante la disposición ordenada de unidades, cuyas dimensiones son pequeñas comparadas con las del elemento que se va a construir (muro, bóveda, etc), y cuyo peso y tamaño depende del sistema de manejo que se vaya a emplear (manual, equipo mecánico, equipo motorizado, entre otros). (Herrera & Madrid, s.f.)

En Costa Rica la utilización de la mampostería está regida por el CSCR10-14 el cual en su capítulo 9 establece los requisitos para el análisis, diseño y construcción sismorresistente. El alcance de dicho capítulo del código dice: "El diseño y la construcción de edificios de mampostería y sus componentes que resistan fuerzas sísmicas, deben satisfacer las especificaciones del anexo A de este código y las del código "Requisitos para estructuras de mampostería en edificaciones" excepto en aquellas cláusulas que se contrapongan a las especificaciones del presente código." (CSCR, 2010-14)

La mampostería puede ser colocada de dos formas distintas, traslapada y en estiba. El primer caso es cuando se realizan traslapos entre hilada e hilada, este traslapo permite que el acero de refuerzo se encuentre ubicado dentro de celdas distintas en cada bloque. En cambio, la colocación en estiba consiste en apilar cada hilada de bloques una encima de la otra. Ambos métodos pueden observarse en la Figura 1.

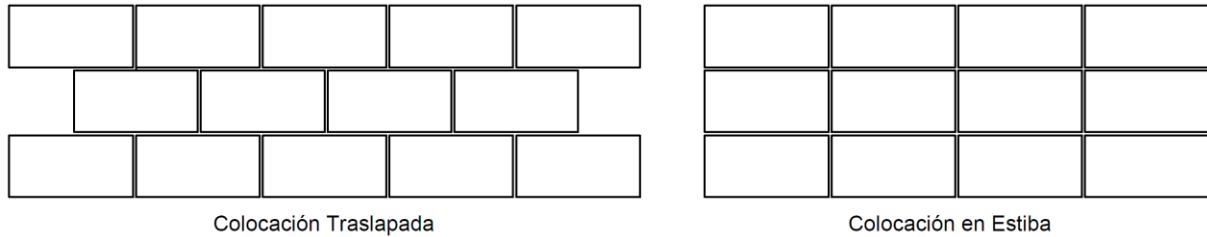


Figura 1. Distintos tipos de colocación de la mampostería

Fuente: El autor

Los bloques de mampostería en el país existen en tres dimensiones distintas, 12x20x40 cm serían los más pequeños, 15x20x40 cm y los más grandes de 20x20x40 cm, estos últimos son los que serán modelados para utilizar en la máquina a una escala de 1/4, estos son los tipos de bloque más utilizados, pero también existen los bloques modulares. En la Figura 2 se puede observar un bloque tradicional de 20cm.



Figura 2. Bloque tradicional de 20x20x40 cm

Fuente: Productos de Concreto, 2019

Una técnica de diseño de la mampostería que brinda muchos beneficios es la modulación, esta consiste en tomar en cuenta las medidas de los bloques al diseñar la estructura. De esta forma los muros, columnas y vigas tienen longitudes que no necesitan del corte de las piezas, se necesita utilizar bloques modulares, los cuales son distintos a un bloque de mampostería convencional, pero evitan de manera importante los desperdicios. En la Figura 3 se puede observar un ejemplo de bloque modular.



Figura 3. Teknoblock, bloque modular de Productos de Concreto

Fuente: Productos de Concreto, 2019

La mampostería que se estudia en este proyecto es de concreto, esto quiere decir que los bloques están compuestos de cemento, piedra, arena, agua y si es necesario aditivos. Como en este caso se trabajará con elementos a escala reducida, no se utiliza piedra para fabricar los bloques, solamente agregado fino, esto para tener una distribución de tamaños adecuada para las dimensiones del bloque.

En el trabajo de Salas (2015), la resistencia de los bloques depende de las siguientes cuatro variables independientes:

- Relación agua/cemento
- Edad de falla
- Escala
- Porcentaje de arena con respecto a la mezcla

Lo que quiere decir que al variar alguna de dichas variables, la resistencia del bloque de concreto se va a ver afectada. La investigación de Castro (2005) determinó que la resistencia de los bloques aumenta si se realiza alguno de las siguientes modificaciones:

- La relación agua/cemento disminuye: entre más seca sea la mezcla, mejor resistencia tendrá. Es importante tomar en cuenta que, si la mezcla es demasiado seca, entonces no será trabajable. Además, la relación mínima de A/C que permite la hidratación del cemento es de 0,42.
- El porcentaje de arena disminuye: Si se reduce el número de áridos, la resistencia aumentará. Sin embargo, estos no pueden reducirse demasiado ni eliminarse, puesto que no habría suficientes partículas para aglomerarse, quedando frágil.

- La edad de falla es mayor: Conforme pasa el tiempo desde que el bloque de concreto fue conformado, las reacciones de hidratación irán aportando dureza al material. Entonces se tiene que entre más tiempo se espere antes de ensayar el bloque, mayor será su resistencia.
- La escala es más grande

Basándose en esto, la investigación que se realizará pretende obtener mejores resultados de resistencia a la compresión que la de Salas (2015), debido a la escala en la que se fabricarán los bloques, siendo la de esa investigación 1:6 y la actual será de 1/4.

Para el diseño de mezcla, como ya se ha mencionado se tiene como base el realizado por Espinoza (1991), describe una serie de ecuaciones para encontrar la dosificación de cada material a partir de curvas de resistencia.

$$\text{Peso del agregado:} \quad P_s = G_{bs} \times \gamma_w \times \%Ag \times V_{tot} \quad (1-1)$$

$$\text{Peso del cemento:} \quad P_c = G_{sc} \times V_{tot} \times \left(\frac{1 - t - \%Ag}{G_{sc} \times \frac{A}{C} + 1} \right) \quad (1-2)$$

$$\text{Peso del agua:} \quad P_w = P_s \times D + G_{sc} \times \frac{A}{C} \times V_{tot} \times \left(\frac{1 - t - \%Ag}{G_{sc} \times \frac{A}{C} + 1} \right) \times \gamma_w \quad (1-3)$$

Estas ecuaciones son utilizadas en el diseño de mezcla de concreto a escala reducida, lo que hace es correlacionar los diseños de mezcla a escala natural con las de escala reducida y así obtener un diseño de mezcla y una dosificación de materiales. Además, son para cualquier escala que se quiera utilizar, ya que el tamaño del agregado se escoge en base a las dimensiones del elemento que se va a fabricar.

Un modelo estructural es una representación a una escala más pequeña que la natural, el cual mantiene similitudes con el elemento que se quiere representar y puede ser elaborado con mayor facilidad que el elemento en su tamaño original. Este es utilizado para representar la realidad y comprobar propiedades estructurales con un menor gasto de materiales, debido a esto es que se utiliza la escala reducida en los bloques de concreto.

Para los elementos a escala reducida se puede realizar una enorme cantidad de pruebas, basándose principalmente en la ventaja que brinda el ahorro en materiales comparado con un estudio a escala natural. En el caso de esta investigación las pruebas a realizar serán la resistencia a la compresión axial de prismas de mampostería normada según ASTM C1314-18 y la selección y el muestreo y ensayo de elementos de mampostería ASTM C140, ya que se busca producir bloques resistentes, que representen adecuadamente a los bloques de tamaño natural y la mejor forma de determinar si los bloques son representativos es calculando la propiedad más importante de la mampostería el $f'm$.

Según la norma ASTM C1314-18, las unidades de concreto se pueden clasificar principalmente en prismas sólidos o huecos y los modelos de falla para cada uno difieren. En el caso de los prismas huecos, se señalan los principales tipos de falla (no necesariamente son los únicos). En la Figura 4, se ilustran los principales modelos de falla por compresión para unidades de concreto de geometría prismática.

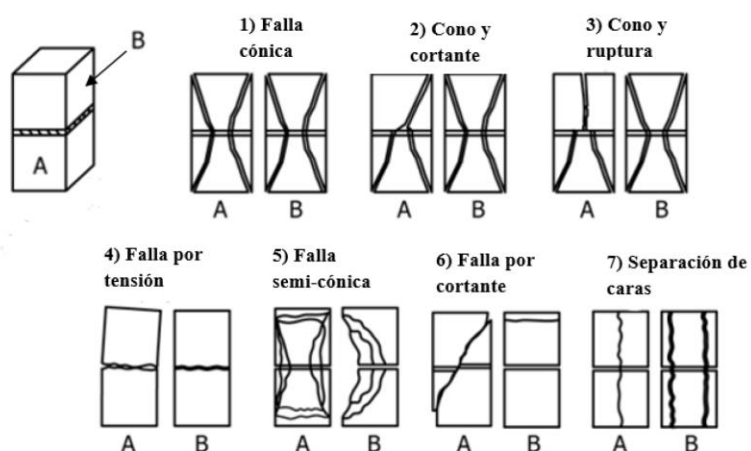


Figura 4. Bocetos de modelos de falla para prismas de concreto

Fuente: Traducido de la norma ASTM C1314-18

La máquina que se utilizará en esta investigación fue fabricada en el proyecto de graduación de Angulo & González en el 2010, el cual se mencionó anteriormente en los antecedentes y consistió en diseñar una máquina que automatizara la fabricación de bloques de mampostería a escala reducida y de esta forma optimizar el proceso de fabricación de estos elementos. Esta máquina fue realizada en el LanammeUCR y actualmente se encuentra en el Laboratorio de Estructuras a Escala Reducida. El funcionamiento de dicha máquina es neumático, lo que quiere

decir que trabaja con aire comprimido. En la Figura 5, se puede ver un esquema de dicha máquina.

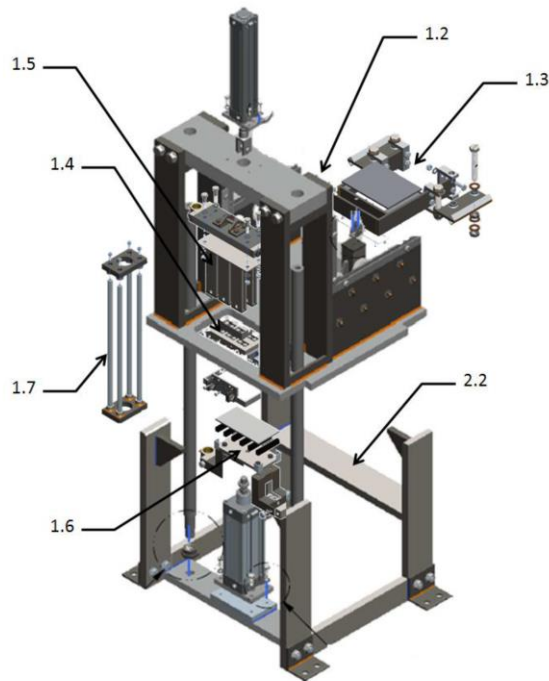


Figura 5. Esquema de máquina de bloques a escala reducida

Fuente: Abarca, 2013.

En el Cuadro 1, se explica detalladamente cada componente de la máquina así como el panel de control de la máquina. Es importante señalar que el vibrador y el estampador son piezas fundamentales en el funcionamiento de la máquina, ya que afectan directamente a la fabricación de los bloques.

Además, es importante señalar que para este trabajo se le va a realizar una modificación a la máquina, la cual consiste en cambiar el molde y el estampador. De esta manera se pasa de tener una máquina que fabrica 6 bloques a escala 1/6 a una que fabrica 4 bloques a escala 1/4. Con este cambio se espera tener un mejor comportamiento de los elementos producidos y de esta manera poder utilizar los bloques en investigación.

Cuadro 1. Estructura de trabajo de la máquina de bloques de escala reducida

Área	Código	Componente	Función
1. MECANISMOS	1.1	Chasis	Apoyo estructural para los componentes mecánicos de la máquina.
	1.2	Tolva	Recepción y almacenamiento de mezcla durante el ciclo de operación.
	1.3	Carro de llenado	Recibe una cantidad limitada de mezcla de la tolva para desplazarla y depositarla al molde, luego se retrae y reinicia el ciclo.
	1.4	Molde y Vibradores	Recibe la mezcla del carro de llenado, vibra la mezcla para consolidar y da la forma a los bloques, finalmente se acopla con el tope y desmolda los bloques.
	1.5	Estampador	Provee la compactación y altura final de los bloques, finalmente se acopla con el tope y desmolda los bloques en movimiento simultáneo con el recibidor.
	1.6	Recibidor	Base con placa removible, se apoya bajo el molde para proveer la base del mismo, posteriormente se acopla el estampador para desmoldar los bloques y retirarlos.
	1.7	Tope	Barra que acopla al estampador con el recibidor durante el movimiento de desmolde de los bloques.
2. DISPOSITIVOS	2.1	Panel Eléctrico	Centro de componentes que proveen alimentación eléctrica.
	2.2	Bloque de válvulas	Centro de válvulas eléctricas para el control de los sistemas mecánicos requeridos.
	2.3	Controlador	Dispositivo que regula la función de cada mecanismo.
	2.4	Botonera	Estación para el control de los ciclos de trabajo de cada mecanismo. Debe poseer el control de cada función. Puede ser manual o programarse un ciclo automático. Botón de emergencia.

Fuente: Abarca, 2013

Cabe destacar que la tolva y el carro de llenado no se encuentran acopladas a la máquina, ya que su funcionamiento no da buenos resultados, por lo que queda fuera del alcance de esta investigación el poner estas piezas en funcionamiento.

1.4 **Delimitación del problema**

1.4.1 Alcance

Los bloques de mampostería serán fabricados a escala reducida, con una relación 1/4 basados en las dimensiones nominales de un bloque de 20 cm de altura por 15 cm de ancho, los cuales pueden conseguirse en el mercado nacional.

Se medirá la resistencia a la compresión uniaxial (f'_m) según la norma ASTM C1314-18, de prismas elaborados con los bloques obtenidos con la intención de obtener resistencias iguales y superiores de las indicadas en el CSCR2010-14 para mampostería Clase A, cuya resistencia promedio a la compresión medida sobre el área neta a los 28 días de edad, es no menor que 133 kg/cm².

Se plantea realizar un total de 28 mezclas de concreto diferentes para ser probadas en la máquina, con un máximo de 12 bloques en las primeras 6 mezclas realizadas y de 8 en las otras 22, lo que daría un total de 248 bloques de mampostería a escala reducida 1/4.

Se realizará la caracterización de los materiales a utilizar en la fabricación de los bloques, arena y cemento, siguiendo la normativa ASTM C136, ASTM C29, ASTM C128, ASTM C40, ASTM C187, ASTM C191, ASTM C188, ASTM C184 y ASTM C109.

Los resultados obtenidos de esta investigación serán aplicables para la máquina semi-automática de bloques y no para la fabricación manual, esto debido a las diferencias necesarias en su consistencia para poder ser moldeados. Además, las curvas de diseño desarrolladas aplican para las variables consideradas en este estudio.

Se elaborará una guía del procedimiento de elaboración de los bloques. No es parte del alcance de esta investigación el programar el funcionamiento automático de la máquina.

1.4.2 Limitaciones

No es posible modificar el funcionamiento de la máquina, esto quiere decir que la compactación y el vibrado que realiza no son un factor que se pueda tomar en cuenta al momento de realizar las mejoras necesarias en la fabricación de los bloques.

Inicialmente el tamaño de los bloques es menor del esperado en planos. Esto se debe a un error en las dimensiones en planos al momento de cambiar de la escala 1/6 a la 1/4. Esto se logró identificar una vez que la investigación ya se encontraba avanzada, por lo que se compararán bloques con alturas diferentes.

1.5 Metodología

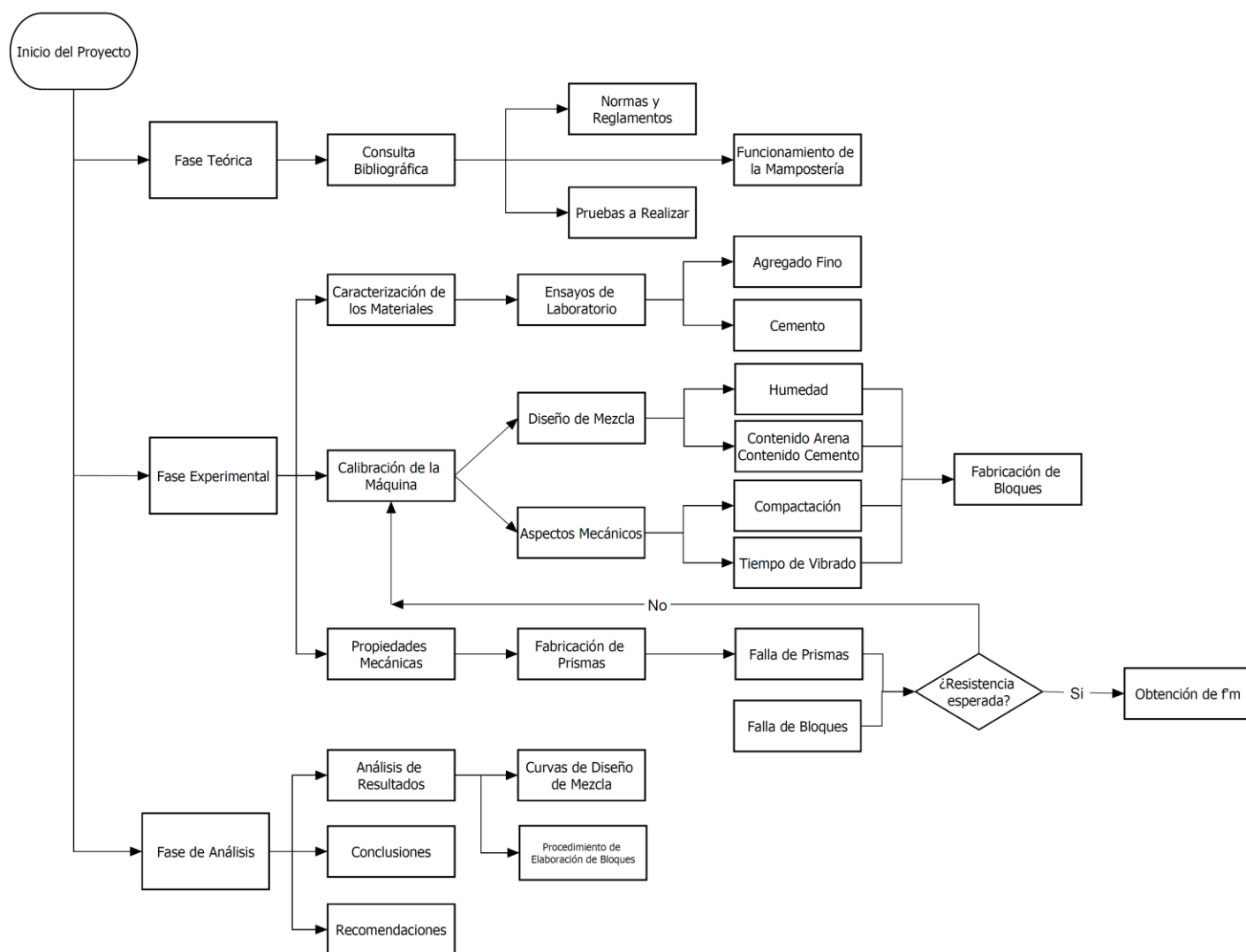


Figura 6. Diagrama de flujo de la metodología

1.5.1 Primera etapa: Fase teórica

En la primera etapa, se realizará la fase teórica, esta consiste en una revisión de fuentes bibliográficas para conocer con total detalle la extensión de la investigación y la información disponible. Se estudiará el comportamiento de la mampostería, su funcionamiento y características. Se hará una revisión de las normas y reglamentos que rigen al diseño de mampostería.

Además, se determinará cuáles son las pruebas que se realizarán durante la investigación, ya sea para los materiales a utilizar o para los elementos de mampostería que se fabriquen. Por último, se investigará sobre los principios del modelaje a escala reducida.

1.5.2 Segunda etapa: Fase experimental

Para una mejor explicación de esta etapa, se va a dividir en tres partes, que serán explicadas a continuación.

1.5.2.1 Caracterización de materiales

Para realizar modelos a escala reducida que representen adecuadamente la realidad, es necesario conocer las características de todos los materiales que se van a utilizar. De esta forma se tiene un mayor conocimiento de sus propiedades y se puede predecir su comportamiento. Además, para realizar un diseño de mezcla apropiado, es fundamental conocer los materiales con los que se va a trabajar.

Para la arena se realizarán las siguientes pruebas:

- Análisis granulométrico por mallas para agregado fino (ASTM C136)
- Peso unitario y vacíos en el agregado (ASTM C29)
- Gravedad específica y absorción de agregado fino (ASTM C128)
- Determinación de impurezas orgánicas en agregado fino para concreto (ASTM C40)

Por ser un modelo directo, la resistencia de los bloques es la misma en escala reducida que en escala natural, de esta forma, los materiales que se utilizan mantienen las propiedades de los materiales a escala natural y por esto se utilizan las mismas normas para caracterizarlos.

Se verificará que la arena cumpla con la especificación estándar de agregados para concreto (ASTM C33) y si no la cumple, se mezclan agregados de tal forma que se mantenga siempre dentro del rango establecido en la normativa.

Para el cemento se realizarán las siguientes pruebas:

- Consistencia normal del cemento hidráulico (ASTM C187)
- Tiempo de fraguado del cemento (ASTM C191)
- Gravedad específica del cemento hidráulico (ASTM C188)
- Resistencia a la compresión del cemento hidráulico (ASTM C109)

1.5.2.2 Calibración de la máquina

El objetivo principal de esta investigación es determinar varios diseños de mezcla que sean apropiados para la máquina de bloques, por lo que esta etapa es fundamental. Se tomará como base para esta investigación los diseños de mezcla tradicionales de Espinoza (1991) y de Castro (2005), sin embargo, se sabe que estos son muy fluidos, por lo que se utilizará más lo conseguido en investigaciones posteriores como la de Salas (2015), Bartels (2017), Padilla (2017) y Morales (2018).

En esta investigación se tomará en cuenta el contenido de arena, el contenido de cemento y la relación agua/cemento. Variando estos tres parámetros se espera obtener mezclas con la resistencia especificada en el CSCR10-14.

Para la fabricación de los bloques se utilizará el procedimiento definido por Bartels (2017) y se adecuará este según las modificaciones que se considere pertinentes. Es fundamental mantener limpia la máquina, ya que la humedad y el contacto con la mezcla puede afectar su funcionamiento.

El tiempo de aprendizaje de la máquina es muy corto debido a que el estudiante trabajó durante todo el 2018 en sus labores de asistente en el LanammeUCR con la máquina, debido a esto ya se tiene el conocimiento de su funcionamiento y de la manera de controlar el moldeo de los bloques.

1.5.2.3 Propiedades mecánicas

Se determina la resistencia a la compresión simple del bloque de mampostería con la norma ASTM C140.

1.5.3 Tercera etapa: Fase de análisis

Una vez que se haya finalizado el diseño de la mezcla y todos los ensayos necesarios, se procederá con el análisis de resultados. Se elaborarán las curvas de diseño de mezcla variando los parámetros más importantes.

Se elaborará un procedimiento para la fabricación de bloques y el mezclado de los materiales.

Para finalizar, se presentarán las conclusiones y recomendaciones necesarias, según los resultados obtenidos en la investigación.

2 CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES

2.1 Cemento

El componente más costoso del concreto es el cemento, sin importar que sea a escala natural o a escala reducida. Es por esto que, cuando se va a utilizar en una investigación es muy importante hacerle pruebas para que se encuentre bien caracterizado y además se asegure su buen comportamiento.

De esta forma se evitan problemas asociados a un cemento de baja calidad o que ha sufrido problemas de humedad.

La prueba más importante que se le hace al cemento en esta investigación es la de la resistencia a la compresión. Esto porque la característica principal a evaluar de los bloques de mampostería a escala reducida será su resistencia a compresión.

Esta prueba permite determinar si el cemento está comportándose adecuadamente, lo que implica no solamente que alcance la resistencia esperada, sino también que su comportamiento sea predecible.

En el transcurso de la investigación se consiguió cemento Ultra, el cual es de alta resistencia temprana y se consideró que utilizarlo podía generar mejores resultados, esto debido a que proporciona una mayor resistencia y es más fino. Esto hizo que se realizaran pruebas adicionales al cemento según se consideró apropiado.

Los ensayos y las cantidades por realizar se pueden ver en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Cantidad de ensayos a realizar en el cemento

Ensayo	Cantidad de pruebas
INTE C57:2018 Resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico	6
INTE C139:2018 Determinación de la consistencia normal del cemento hidráulico	7
INTE C137:2019 MOD Determinación del tiempo de fragua de un cemento hidráulico por medio de la aguja de Vicat	2
INTE C141:2018 Determinación de la densidad del cemento hidráulico	10

2.1.1 INTE C139:2018 Determinación de la consistencia normal del cemento hidráulico (ASTM C187-16)

Este procedimiento se utiliza cuando es necesario determinar la cantidad de agua para preparar pastas de cemento hidráulico con consistencia normal para ser utilizadas en otros ensayos. (INTE C139, 2018).

Los resultados se pueden observar en el Cuadro 3 para el cemento Fuerte y en el Cuadro 4 para el cemento Ultra, en el primer caso, con las muestras 3 y 4 se supone que la penetración fue menor que la de la muestra 2 porque se duró más tiempo en colocar la pasta dentro del molde.

Además, con una penetración de 9mm ya se considera adecuado, ya que la norma indica que sea de 10 ± 1 mm.

Cuadro 3. Consistencia normal cemento Fuerte

Número de muestra	Cemento (g)	Agua (g)	Penetración (mm)	Agua requerida para consistencia normal (%)
1	650	178	8	
2	650	180	9	
3	650	182	8	
4	650	182	8	27.5

En el segundo cemento utilizado, se obtiene una penetración distinta con la misma cantidad de agua, esto sucede en las muestras 2 y 3. Esto se debe al tiempo que se duró moldeando la pasta y dejando caer el equipo para tomar dicha medida, en la muestra 2 se pasó del tiempo establecido por la norma, por lo que se repitió con las mismas cantidades y se obtuvo un resultado satisfactorio.

Cuadro 4. Consistencia normal cemento Ultra

Número de muestra	Cemento (g)	Agua (g)	Penetración (mm)	Agua requerida para consistencia normal (%)
1	650	175	11	
2	650	173	7	
3	650	173	9	26.6

2.1.2 INTE C137:2019 MOD Determinación del tiempo de fragua de un cemento hidráulico por medio de la aguja de Vicat (ASTM C191-19)

El tiempo de fragua es muy importante, porque permite saber cuándo este se ha endurecido lo suficiente, de esta forma se puede conocer cuánto tiempo hay que esperar para poder desmoldar los elementos que se fabriquen con dicho cemento.

El tiempo de fragua se calculó como se indica en la ecuación (2-1)

$$\text{Tiempo de fragua} = \left[\frac{(H - E)}{(C - D)} \times (C - 25) \right] + E \quad (2-1)$$

E: tiempo en minutos de la última penetración mayor a 25mm.

H: tiempo en minutos de la primera penetración menor a 25mm.

C: lectura de penetración en el tiempo E.

D: lectura de penetración en el tiempo H.

Además, el tiempo final de fragua se toma como el tiempo transcurrido entre el primer contacto del cemento con el agua, y el momento cuando el tiempo final de fragua de Vicat es determinado. Redondeado a los 5 minutos más cercanos (INTE C137, 2019).

En este caso se utilizó el método A, el cual utiliza un equipo manual de Vicat, este equipo se puede ver en la Figura 7. Los resultados se pueden ver en el

Cuadro 5.



Figura 7. Prueba en curso de tiempo de fragua

Cuadro 5. Tiempo de fragua del cemento Fuerte

Número de muestra	Tiempo de fragua por Vicat (min)	Tiempo final de fragua por Vicat (min)
1	110	195
2	115	185

2.1.3 INTE C141:2018 Determinación de la densidad del cemento hidráulico (ASTM C188-17)

La gravedad específica del cemento es una característica fundamental del material, especialmente en el diseño de mezclas de concreto. Debido a esto, se desea conocer este dato con el cemento que se va a utilizar.

Si bien esta norma es para calcular la densidad, la gravedad específica es simplemente una razón entre la densidad del material y la densidad del agua a una temperatura específica.

En este caso se utiliza la densidad del agua a 4°C que es de 1 g/cm³ que es la que indica la norma (INTE C141, 2018).

Para calcular la gravedad específica del cemento se utilizan las ecuaciones (2-2), (2-3) y (2-4).

$$M_c = M_t - M_a \quad (2-2)$$

M_c: masa del cemento usado, g.

M_t: masa del frasco, g, conteniendo el líquido y el cemento

M_a: masa del frasco, g, con el líquido en la primera graduación

$$\rho = \frac{M_c}{V} \quad (2-3)$$

ρ: densidad del cemento, g/cm³

M_c: masa del cemento utilizado, calculada según la ecuación (2)

V: volumen desplazado del líquido, cm³

$$\text{Gravedad específica del cemento} = \frac{\text{densidad del cemento}}{\text{densidad del agua a 4°C}} \quad (2-4)$$

Se puede observar en el Cuadro 6, que la gravedad específica del cemento utilizado es de 3.02.

Cuadro 6. Gravedad específica del cemento Fuerte

Número de muestra	Masa de cemento (g)	Volumen de cemento (cm3)	Gravedad específica del cemento
1	63.9	21.3	3.00
2	63.9	21.3	3.00
3	63.8	21.0	3.04
4	63.7	21.2	3.00
5	63.4	20.7	3.06
Promedio	63.7	21.1	3.02
Desv. Est.	0.185	0.228	0.025

En el Cuadro 7, se puede observar la gravedad específica del cemento Ultra que es de 3.04, esta es ligeramente superior a la del cemento Fuerte. Esto puede explicarse en que el Ultra es un cemento más fino, por lo que en un mismo volumen se va a llenar mejor el espacio y tener más material de cemento Ultra que de Fuerte.

Cuadro 7. Gravedad específica del cemento Ultra

Número de muestra	Masa de cemento (g)	Volumen de cemento (cm3)	Gravedad específica del cemento
1	63.8	21.1	3.03
2	63.9	21.0	3.04
3	63.8	20.8	3.07
4	63.9	21.1	3.03
5	63.8	21.0	3.04
Promedio	63.8	21.0	3.04
Desv. Est.	0.044	0.110	0.015

2.1.4 INTE C57:2018 Resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico. Usando especímenes cúbicos de 50mm (ASTM C109-20)

Para esta prueba se realizaron 18 cubos de mortero, con la misma cantidad de cemento, agua y arena normalizada. Por facilidad de moldeo se realizó en 3 tandas de 6 bloques.

Siguiendo lo establecido en la norma se utilizó la dosificación mostrada en el Cuadro 8 para el mortero, buscando un flujo de 110 ± 5 .

Cuadro 8. Cantidad de material para cubos de mortero Fuerte

Material	Número de especímenes		
	6	9	12
Cemento, g	500	740	1060
Arena, g	1375	2035	2915
Agua, g	242	359	514

Fuente: Tomado de INTE C57, 2018.

Al realizar la prueba de flujo se obtiene un valor de 108, el cual cumple, lo que permite fabricar los cubos con esta dosificación. En la Figura 8, se puede ver un ejemplo de prueba de flujo que da menos de lo especificado en la norma, por lo que no cumple.



Figura 8. Muestra en tabla de flujo que no cumple con la norma

Al utilizar esta misma dosificación para el cemento Ultra se obtuvo un flujo de 89, este no cumple con la normativa por lo que se aumentó la cantidad de agua utilizada. Se probó con la dosificación que se muestra en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Cantidad de material para cubos de mortero Ultra

Material	Número de especímenes
	6
Cemento, g	500
Arena, g	1375
Agua, g	250

Al realizar la prueba de flujo se obtiene un valor de 107, el cual cumple, lo que permite fabricar los cubos con esta dosificación.

Los resultados obtenidos para el cemento Fuerte y Ultra se muestran en el Cuadro 10 y Cuadro 11 respectivamente.

Cuadro 10. Carga alcanzada por los cubos de mortero en N, cemento Fuerte.

	Edad de falla (días)		
	7	14	28
Tanda 1	73699	81009	91338
	80156	80183	91449
Tanda 2	78295	84932	93383
	79406	89741	90899
Tanda 3	80680	91292	98830
	76752	86877	93847

Cuadro 11. Carga alcanzada por los cubos de mortero en N, cemento Ultra.

	Edad de falla (días)		
	7	14	28
Tanda 1	83771	94440	100006
	82251	89424	102187
Tanda 2	85857	97039	97244
	89436	97834	103784
Tanda 3	78025	91580	104384
	75674	73697	95924

El promedio de resistencia de los cubos separados por tanda y por edad de falla se puede observar en el Cuadro 12 y Cuadro 13 para Fuerte y Ultra respectivamente.

Cuadro 12. Resistencia de los cubos de cemento Fuerte en MPa.

	Edad de falla (días)		
	7	14	28
Tanda 1	30.8	32.2	36.6
Tanda 2	31.5	34.9	36.9
Tanda 3	31.5	35.6	38.5
Promedio	31.3	34.3	37.3
Desv. Est.	0.351	1.464	0.871

Cuadro 13. Resistencia de los cubos de cemento Ultra en MPa.

	Edad de falla (días)		
	7	14	28
Tanda 1	33.2	36.8	40.4
Tanda 2	35.1	39.0	40.2
Tanda 3	30.7	33.1	40.1
Promedio	33.0	36.3	40.2
Desv. Est.	1.769	2.443	0.155

Comparando los resultados del cemento Fuerte en el Cuadro 12 y el cemento Ultra en el Cuadro 13, se puede ver que en promedio la resistencia es consistentemente mayor en el caso del cemento Ultra. Además, la tanda 3 tiene resultados muy diferentes a las otras dos a los 7 y 14 días. Esto puede deberse a que la tanda 3 se realizó al final del día, más cansado y esto afecta la compactación.

Como se ve en la Figura 9, la resistencia del cemento en las tandas 2 y 3 es bastante similar, en la tanda 1 es en la que se presentan mayores diferencias. Esto se supone que puede deberse al hecho de ser la primera vez que se realizaba el ensayo.

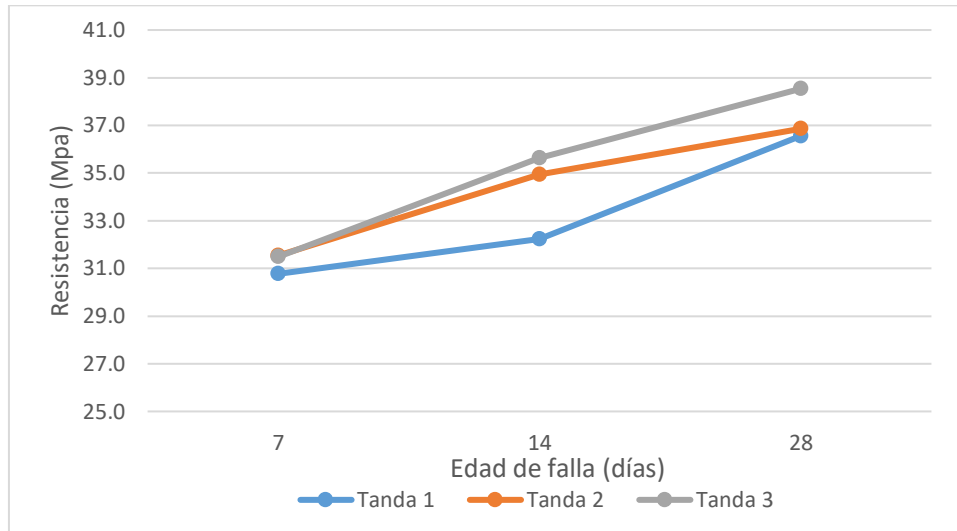


Figura 9. Resistencia a la compresión de los cubos de mortero Fuerte

En la Figura 10, se puede ver que las tandas 1 y 2 tienen un comportamiento similar, en específico de los 7 a 14 días. También se puede apreciar lo que se mencionó anteriormente de la tanda 3, la cual tiene una resistencia marcadamente menor hasta llegar a la edad de los 28 días donde se equipara con las otras tandas.

Esto es bueno ya que, a pesar de que en las edades de 7 y 14 días la resistencia de esa tanda es menor, con el paso del tiempo se alcanza la resistencia de las otras tandas. Podría concluirse que el error que se dio en la compactación de dicha tanda, con la edad se ve corregido.

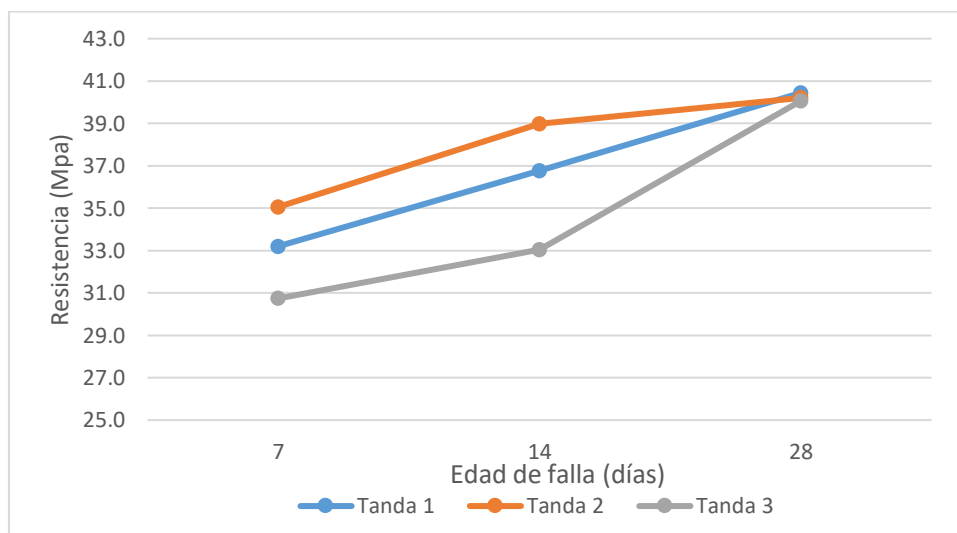


Figura 10. Resistencia a la compresión de los cubos de mortero Ultra

2.2 Agregado

Como este proyecto se basa en trabajar a escala reducida, el concreto no tendrá piedra. El agregado por utilizar está compuesto únicamente de arena, siendo las partículas más grandes una representación a escala de la piedra y las más finas de la arena.

En proyectos anteriores como el de Bartels (2017) y Padilla (2017), se ha trabajado con una mezcla entre arena industrial y de río para así obtener la granulometría que se consideraba adecuada en ese momento. Sin embargo, Morales (2018) utilizó únicamente arena de río y obtuvo excelentes resultados. Debido a esto y a pruebas realizadas en la asistencia de investigación del LanammeUCR, se ha decidido seguir lo obtenido por Morales, que consiste en la arena de río que pase la malla #16 y sea retenido en la #200.

Es necesario tomar en cuenta que los bloques a fabricarse en este proyecto son más grandes que los que se han producido anteriormente debido al cambio de la escala, antes se estaba utilizando 1/6 y ahora se utilizará 1/4. Es por esto que, el material a utilizar será el que pase la malla #8 en lugar de la #16.

Para tener un adecuado control del concreto y de las variables presentes en su fabricación, es necesario conocer las características de la arena que se va a utilizar. Es por esto que, se decidió realizar pruebas de laboratorio al material, y de esta forma conocer con lo que se está trabajando. Los ensayos y las cantidades por realizar se pueden ver en el Cuadro 14.

Cuadro 14. Cantidad de ensayos a realizar en el agregado

Ensayo	Cantidad de pruebas
INTE C59:2015 Determinación de impurezas orgánicas	5
INTE C69:2016 Gravedad específica y absorción en finos	5
INTE C49:2018 Lavado del material más fino que la malla #200	5
INTE C46:2016 Análisis granulométrico por mallas	10
INTE C58:2013 Peso unitario y porcentaje de vacíos	5

Se decidió realizar 10 ensayos de granulometría para poder comparar los resultados del material que fue lavado del que no.

2.2.1 INTE C59:2015 Determinación de las impurezas en el agregado fino para concreto (ASTM C40/C40M-20)

Esta norma se utiliza para saber si el agregado puede contener impurezas que vayan a perjudicar el desempeño de morteros o agregados. Este ensayo únicamente determina si hay o no impurezas orgánicas, si se diera el caso de que si haya, es necesario realizar el ensayo de **INTE C60** para evaluar el efecto de dichas impurezas en la resistencia del mortero.

Como se mencionó en el Cuadro 2, este ensayo se va a realizar 5 veces las cuales se pueden ver en la Figura 11. Estos frascos son con la solución de NaOH recién colocada, por lo que todavía se debe esperar 24 horas para poder determinar la presencia de impurezas.



Figura 11. Frascos con agregado recién preparados

Se trabajó con el vidrio de color estándar el cual se puede ver en la Figura 12. En este se pueden ver 5 tipos de vidrio de color Gardner Estándar, para asegurar que no hay impurezas presentes en el agregado fino, el líquido sobrenadante de cada frasco no debe ser más oscuro que el vidrio No.11.



Figura 12. Vidrio de color estándar

De las 5 pruebas realizadas para este ensayo todas obtuvieron resultados satisfactorios, esto se puede comprobar con la Figura 13, donde el líquido sobrenadante es similar al vidrio de color Gardner Estándar 8. Por lo tanto, el agregado del río Guápiles puede ser utilizado para el concreto.



Figura 13. Agregado libre de impurezas orgánicas

2.2.2 INTE C69:2016 Determinación de la densidad relativa (gravedad específica), y la absorción del agregado fino (ASTM C128-15)

Se siguió el procedimiento gravimétrico de la norma para determinar gravedad específica seca al horno (BS), gravedad específica saturada superficie seca (SSS), gravedad específica aparente y absorción. Los cálculos se hacen de acuerdo a las siguientes ecuaciones respectivamente (2-5), (2-6), (2-7) y (2-8).

$$\text{Densidad relativa (Gravedad específica)(BS)} = \frac{A}{(B + S - C)} \quad (2-5)$$

$$\text{Densidad relativa (Gravedad específica)(SSS)} = \frac{S}{(B + S - C)} \quad (2-6)$$

$$\text{Densidad relativa aparente (Gravedad específica aparente)} = \frac{A}{(B + A - C)} \quad (2-7)$$

$$\text{Absorción, \%} = 100 \times \left[\frac{(S - A)}{A} \right] \quad (2-8)$$

A: masa al aire del espécimen seco al horno, g.

B: masa del picnómetro lleno con agua hasta el nivel de aforo, g.

C: masa del picnómetro lleno con la muestra y agua hasta el nivel de aforo, g.

S: masa de la muestra en condición saturada con superficie seca, g.

En este ensayo la parte de más cuidado es determinar el momento en el cual el agregado se encuentra en su condición saturado superficie seca. Para esto se sigue el procedimiento descrito en la norma de secar el agregado y moverlo constantemente, luego se realiza la prueba de desplome con el cono. Para ver este procedimiento se puede consultar la norma. (INTE C69, 2016).

En la Figura 14, se puede observar un ejemplo del agregado con un exceso de humedad, por lo que el cono truncado no se desploma. Mientras que en la Figura 15, se observa un ligero desplome que es el resultado esperado para determinar la condición de saturado superficie

seca. Además, en la Figura 16, se puede apreciar un agregado que se ha secado más de la cuenta.



Figura 14. Agregado con mucha humedad



Figura 15. Agregado en condición saturado superficie seca



Figura 16. Agregado que se ha secado más de la cuenta

Los resultados de los ensayos realizados en las 5 muestras se presentan en el Cuadro 15, se puede observar que son similares entre sí, obteniendo una gravedad específica promedio de 2.49 y una absorción del 3.9%. Estos datos son muy importantes para el diseño de mezcla del concreto a escala reducida.

Cuadro 15. Resultados de ensayo de gravedad específica y absorción del agregado

Número de muestra	Gravedad específica (BS)	Gravedad específica (SSS)	Gravedad específica aparente	Absorción (%)
M1	2.49	2.59	2.79	4.3
M2	2.48	2.58	2.75	4.0
M3	2.50	2.59	2.76	3.7
M4	2.49	2.59	2.76	3.8
M5	2.50	2.60	2.76	3.8
Promedio	2.49	2.59	2.76	3.9
Desv. Est.	0.009	0.006	0.012	0.2

2.2.3 INTE C58:2013 Método de ensayo para determinar la densidad masiva (peso unitario) y los vacíos en el agregado (ASTM C29/C29M-20a)

Se calculó la densidad masiva del agregado a utilizar siguiendo la ecuación (2-9).

$$M = \frac{G - T}{V} \quad (2-9)$$

M: densidad masiva del agregado, Kg/m³

G: masa del agregado más el recipiente, Kg

T: masa del recipiente, Kg

V: volumen del recipiente, m³

Además, el porcentaje de vacíos se calcula de acuerdo a la ecuación (2-10).

$$\% \text{ Vacíos} = 100 \times \frac{(S \times W) - M}{S \times W} \quad (2-10)$$

M: densidad masiva del agregado, Kg/m³

S: gravedad específica masiva (base seca), determinada de acuerdo con la norma INTE C69, 2016

W: densidad del agua 998, Kg/ m³

Se realizó el ensayo mediante el proceso envarillado y el suelto, de esta forma se tiene la densidad del material en ambas condiciones y su respectivo porcentaje de vacíos. Los resultados del procedimiento envarillado se observan en el Cuadro 16, los del suelto en el

Cuadro 17.

Cuadro 16. Propiedades del agregado envarillado

Número de muestra	Densidad masiva envarillado	% de Vacíos en agregado envarillado
1	1640	34
2	1690	32
3	1710	31
4	1720	31
5	1710	31
Promedio	1694	32
Desv. Est.	28.7	1.2

Cuadro 17. Propiedades del agregado suelto

Número de muestra	Densidad masiva suelto	% de Vacíos en agregado suelto
1	1610	35
2	1610	35
3	1610	35
4	1600	36
5	1610	35
Promedio	1608	35
Desv. Est.	4.0	0.2

2.2.4 INTE C49:2018 Determinación por lavado del material que pasa por el tamiz 75µm (Nº200) en agregados minerales (ASTM C117-17)

Esta norma se utiliza cuando sea necesario determinar con mayor exactitud la cantidad de material más fino que 75µm, ya que el tamizado en húmedo separa de manera más eficiente y completa. (INTE C49, 2018)

Los resultados de este ensayo se combinan con los de tamizado en seco para obtener un análisis completo. (INTE C46, 2018)

Se utilizó una masa mínima de 300g que es lo que indica la norma para agregado con un tamaño nominal de 4.75mm. El cálculo se realizó de acuerdo a la ecuación (2-11).

$$A = \left[\frac{(B - C)}{B} \right] \times 100 \quad (2-11)$$

A: porcentaje de material más fino que el tamiz de 75µm (Nº200) por lavado

B: masa seca original de la muestra, g

C: masa seca de la muestra después del lavado, g

Cuadro 18. Resultados de la determinación del material más fino que 75µm

Número de muestra	Masa seca inicial (g)	Masa seca final (g)	Material más fino que 75µm (g)	Material más fino que 75µm (%)
M1	404.0	385.4	18.6	4.6
M2	430.0	407.9	22.1	5.1
M3	400.0	382.1	17.9	4.5
M4	400.1	382.3	17.8	4.4
M5	404.0	386.5	17.5	4.3
Promedio	407.6	389.6	18.8	4.6
Desv. Est.	-	-	1.7	0.3

Como se puede ver en el Cuadro 18, el promedio de material más fino que $75\mu\text{m}$ es de 4.6%, esto permite ver qué tan fino es el agregado y tomar esto en cuenta al momento del diseño de mezcla para los bloques de mampostería a escala reducida.

2.2.5 INTE C46:2016 Concreto. Análisis granulométrico en tamices de agregado fino y grueso. Método de ensayo (ASTM C136/C136M-19)

La distribución de tamaño de las partículas en la arena o granulometría es de los factores más importantes en el diseño de concreto a escala reducida.

Las partículas más grandes del agregado aportan resistencia a la mezcla, mientras que las más finas contribuyen a la trabajabilidad, por lo que es necesario combinar adecuadamente los dos principios para obtener la mezcla más eficiente posible.

Se realizaron 10 análisis granulométricos, 5 con el agregado que se utilizó para la determinación del material más fino que el tamiz de $75\mu\text{m}$ y 5 con el agregado sin lavar, tal y como se tiene en almacenamiento. Esto con el fin de conocer la granulometría en ambos casos y poder determinar cuál de las dos metodologías utilizar en el diseño y fabricación de los bloques.

A continuación, se presentan dos gráficos que contienen los resultados de cada análisis granulométrico realizado. La Figura 17, representa la granulometría del material que se ha sometido a la norma (INTE C49, 2018). Mientras que la Figura 18, es el material tal y como se encuentra en almacenamiento. Es importante especificar que en ambos casos se realizó el análisis por mallas con el material seco al horno.

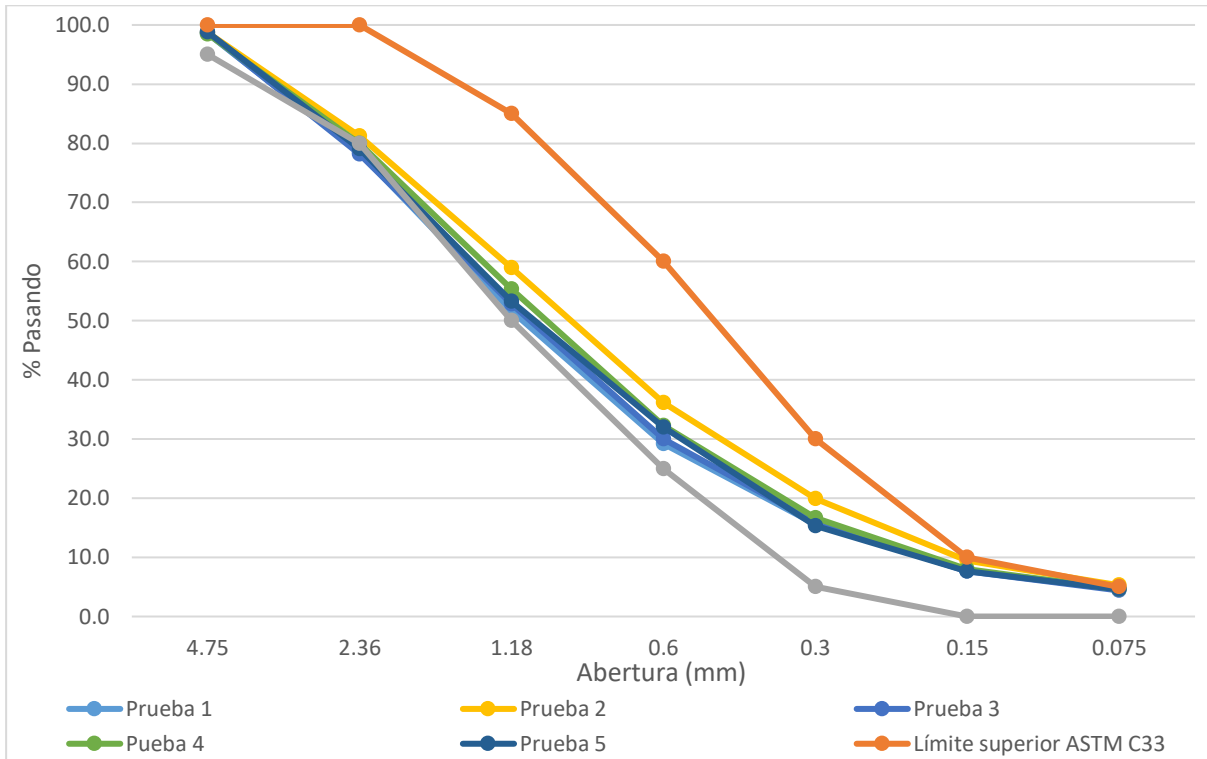


Figura 17. Análisis granulométrico de arena de río con lavado

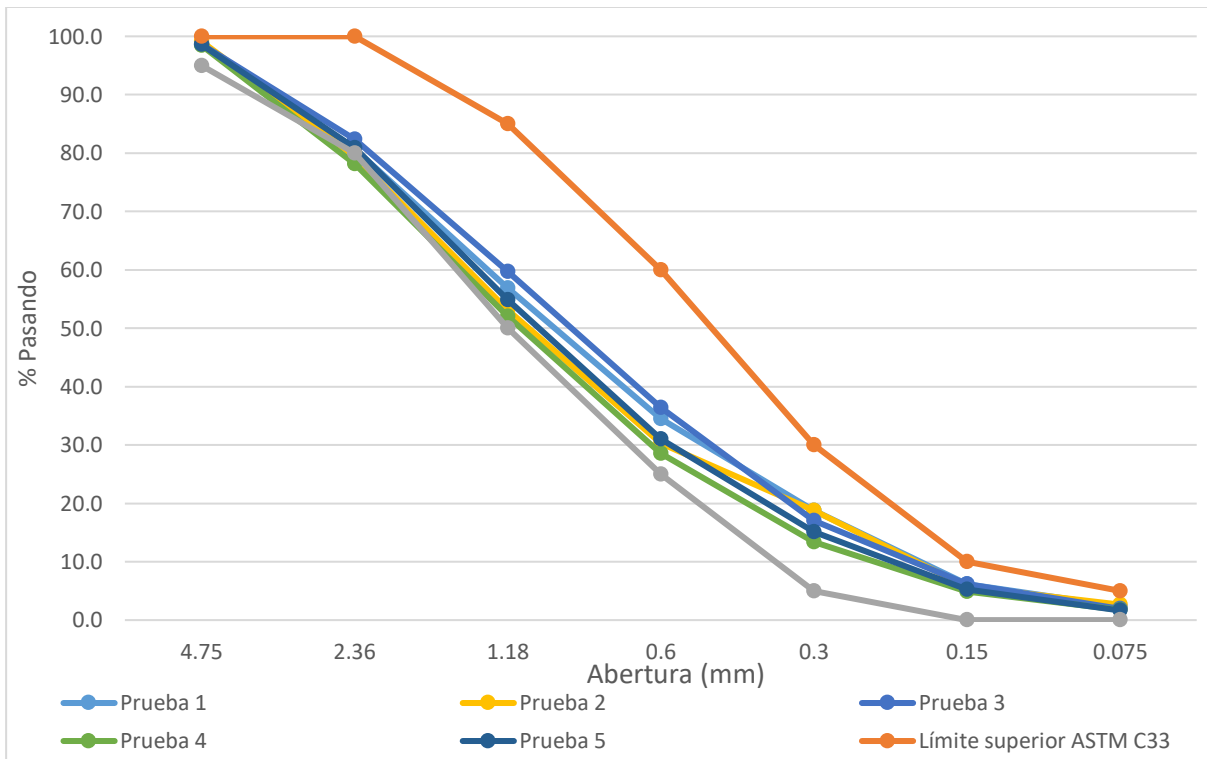


Figura 18. Análisis granulométrico de arena de río sin lavado

Comparando ambas figuras se puede ver que hay una mayor cantidad de material en la malla de 75 μ m cuando se realiza el lavado del material. Esto se debe a que el tamizado con agua permite separar de una mejor manera las partículas muy finas, que, en el tamizado en seco se mantienen adheridas a las partículas de mayor tamaño.

Además de esto se calculó el módulo de finura de cada método, los cuales se presentan en el Cuadro 19. Se puede ver que ambos son iguales, si se revisa con más decimales cada dato se puede ver que el del material con lavado tiene un módulo ligeramente menor. Esto se puede explicar con el hecho de que se retiene menos material en las mallas superiores por el lavado que se le realiza.

Cuadro 19. Módulo de finura de la arena de río

	Módulo de Finura
Material con lavado más fino que 75 μm	3.11
Material sin lavado	3.11

2.3 Agua

El agua que se utiliza en la investigación únicamente tiene que cumplir el requisito de ser agua potable.

Por facilidad se utiliza agua destilada que se encuentra cerca de las batidoras.

3 Diseño de mezcla

3.1 Agregado utilizado

Para tener un mejor control del agregado que se utiliza en la mezcla de concreto se decidió utilizar el material lavado, desechando lo que pase la malla de 75 μm . Para controlar el tamaño máximo del agregado se tamizó toda la arena que se quiere utilizar en su condición seca al horno a través de la malla #8, esto se consigue agitando la malla y golpeándola con la mano hasta que ya no pasen más partículas. Además, se mantiene en almacenamiento el material en su condición seco al horno.

Se descubrió que el material almacenado dentro de un balde igual absorbe cierta cantidad de agua por la humedad del ambiente, por lo que se decide almacenarlo dentro de doble bolsa, cerrando cada una y luego cerrando lo mejor posible el balde. De esta manera se disminuye la absorción de agua en la arena.

Además, se puede ver que se obtienen buenos resultados utilizando el agregado con su granulometría natural, desechando el material más fino que 75 μm . Esto es importante ya que demuestra que no es necesario utilizar mezclas de agregados con granulometrías diseñadas por el respectivo investigador. Esa práctica, aunque se supone que da buenos resultados implica mucho tiempo en separar las distintas arenas, ya sea río, industrial o algún otro, en las respectivas mallas y luego combinarlos para llegar a una granulometría deseada.

3.2 Dosificación de materiales en la mezcla

Se decidió trabajar el diseño de mezcla con las ecuaciones de la tesis de Espinoza, 1991. En esta la cantidad de agua se define en base a la relación de agua/cemento para determinar la cantidad de agua que se quiere en la mezcla, además se le agrega el agua que será absorbida por el agregado.

Inicialmente se pensaba basarse en las curvas de resistencia obtenidas por Castro, 2005. Pero debido a que el proceso de fabricación de los bloques con la máquina es muy distinto que el de los bloques hechos a mano con moldes de acrílico, esas resistencias esperadas para cada diseño de mezcla no son tan similares. Por lo que se pasó a elegir valores importantes en el diseño basados en las pruebas iniciales que se realizaron y se buscó tener un rango de variables, para de esta forma calibrar lo mejor posible la máquina.

Se utilizó las ecuaciones (1-1), (1-2) y (1-3) para determinar las dosificaciones del cemento, arena y agua. Los datos de entrada para estas ecuaciones fueron obtenidos en las pruebas de laboratorio de los materiales que se utilizan en la investigación. Dichas variables son las siguientes:

- Volumen de mezcla (V_{tot})
- Relación agua/cemento (A/C)
- Porcentaje de agregado respecto al volumen de mezcla (%Ag)
- Gravedad específica del cemento (G_{sc})
- Tamaño máximo del agregado
- Gravedad específica bruta seca del agregado (G_{bs})
- Gravedad específica del agua (γ_w)
- Porcentaje de aire arrastrado (t)
- Absorción del agregado (D)

En esta investigación únicamente se va a variar el volumen de mezcla (dependiendo de la cantidad de bloques que se quiera hacer), la relación agua/cemento, el porcentaje de agregado y la gravedad específica del cemento. Este último no se realizó de manera intencional, sino que se logró conseguir el cemento Ultra hasta que la investigación se encontraba en una etapa avanzada.

En la Figura 19, se puede ver el proceso que se sigue al momento de realizar el diseño de mezcla para las distintas variables que se decidieron modificar en esta investigación.

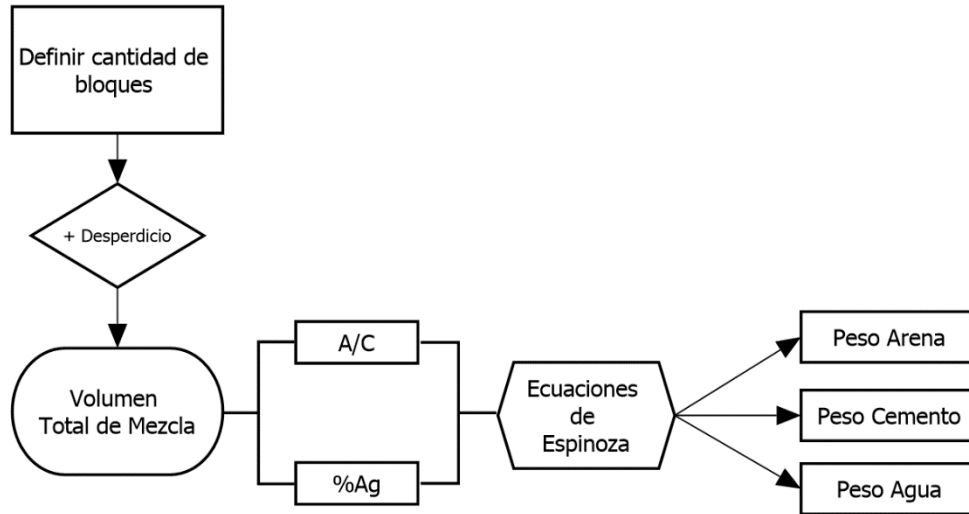


Figura 19. Proceso del diseño de mezcla

3.3 Procedimiento de mezclado del concreto

Inicialmente se utilizó el procedimiento de mezclado para pastas y morteros de la norma INTE C144, sin embargo, por ser mezclas más secas que las utilizadas con esa norma, los resultados no fueron adecuados. La presencia de grumos y pelotas en la mezcla hicieron necesaria la búsqueda de otras opciones.

Lo primero que se hizo fue cambiar el orden de mezclado. Colocar de primero el cemento e hidratarlo para que al entrar en contacto con el cemento no se formaran los grumos. Para esto se decidió separar el agua en una proporción de 70/30. Después de esto se pudo ver que faltaba agua para la mezcla del cemento y se cambió a un 50/50 la cantidad de agua.

En este cambio se mezclaba la arena a velocidad 1 por 30s, luego a velocidad 2 por 60s, se agregaba el agua y el otro 50% del agua en 15s en los que se continuaba mezclando a velocidad 1. Por último, se mezclaba a velocidad 2 por 60s.

Después se concluyó que el mezclado inicial de arena y agua no importa que tan largo sea ya que no hay cemento hidratado, por lo que se aumentó considerablemente su tiempo de mezclado al mostrado más adelante.

Después de distintas pruebas para comprobar el mejor procedimiento se definió el que se muestra a continuación.

1. Colocar la paleta y el tazón de mezclado en la batidora. Luego introducir los materiales en el tazón y mezclar de la siguiente manera.
2. Colocar toda la arena en la batidora.
3. Agregar el 50% del agua de diseño.
4. Mezclar a velocidad 1 por 30s.
5. Detener el mezclado y pasar a velocidad 2 por 90s.
6. Detener el mezclado y en un periodo de 15s raspar la arena seca de los lados del tazón.
7. Continuar mezclando a velocidad 2 por 135s.
8. Detener el mezclado, luego añadir todo el cemento.
9. Mezclar a velocidad 1 por 15s y en ese mismo periodo colocar el restante 50% del agua de diseño.
10. Detener el mezclado y pasar a velocidad 2 por 45s.
11. Detener el mezclado y en un periodo de 15s raspar la mezcla seca de los lados del tazón.
12. Continuar mezclando a velocidad 2 por 105s.

El total de mezclado inicial para humedecer la arena es de 4min y 30s.

El total de mezclado una vez que el cemento entra en contacto con la arena y el agua es de 3min.

De esta manera se garantiza una consistencia homogénea en la mezcla y se consigue eliminar el problema anterior de las aglomeraciones de material que se daban con el procedimiento utilizado anteriormente.

4 FABRICACIÓN DE BLOQUES

4.1 Procedimiento de moldeo de los bloques

Lo que se busca con la máquina es realizar el procedimiento de fabricación lo más automático que se pueda, esto quiere decir con la menor interacción posible de parte de la persona fabricando los bloques.

Para esto se probó con un método de fabricación en el que únicamente se colocara la mezcla en el molde y se utilizara la compactación y vibración de la máquina. Se realizó el llenado en dos capas y se vibró 5s por capa.

Esto se realizó con distintos diseños de mezcla sin obtener bloques en condiciones de ser fallados, por lo que se buscó la manera de poder llenar mejor los moldes, en especial la zona debajo de los apoyos del núcleo. Para esto se introdujo la mezcla con ayuda de una cuchilla o la herramienta mostrada en la Figura 20, así las mezclas menos trabajables se pueden utilizar en la máquina y obtener altas resistencias.

Con ese procedimiento se obtuvo buenos resultados y se decidió buscar una manera más automática de llenar los bloques, lo que se hizo fue que se aumentó el vibrado de la segunda capa a 8s. Además, se descubrió que para acomodar mejor la mezcla era necesario realizar una vibración simultánea a la segunda compactación, para acomodar la mezcla justo antes de ser desmoldada.

Para tener los mejores resultados posibles en esta investigación, después de haber realizado distintos moldeos para los bloques se decide utilizar dos métodos de fabricación, los cuales permiten tener una amplia variedad de mezclas para trabajar y así obtener la mayor cantidad de información posible en la calibración de esta máquina.

4.1.1 Método 1 de fabricación de bloques

Se espera 3 minutos para colocar el material.

Se moldea la mezcla en dos capas dentro de los bloques:

Primera capa: se coloca mezcla para llenar medio bloque, con una cuchilla o la herramienta que se puede ver en la Figura 20, se introduce la mezcla en las paredes frontales (paredes cortas) de los bloques, una posición inicial de la herramienta es la de la Figura 21 a)

y cuando se introduce por completo se observa como en la Figura 21 b). Se vibra 5s y se baja el pistón de compactación.

Segunda capa: se coloca el resto de la mezcla, con la espátula se distribuye uniformemente en todo el molde, se introduce con la herramienta en las paredes cortas y con la espátula en las largas. Se vibra 3s y luego se compacta con una vibración simultánea de 2s.

En total se tienen 10s de vibración.



Figura 20. Herramienta utilizada para introducir mezcla en el molde



a)



b)

Figura 21. Introducir material por el método 1

4.1.2 Método 2 de fabricación de bloques

Se espera 3 minutos para colocar el material.

Se moldea la mezcla en dos capas dentro de los bloques:

Primera capa: se coloca mezcla para llenar medio bloque. Se vibra 5s y se baja el pistón de compactación.

Segunda capa: se coloca el resto de la mezcla, con la espátula se distribuye uniformemente en todo el molde. Se vibra 8s y luego se compacta con una vibración simultánea de 2s.

En total se tienen 15s de vibración.

4.2 Curado

Los bloques se llevan a la cámara húmeda con la que cuenta el LanammeUCR inmediatamente después de ser fabricados. Ahí permanecen todo el tiempo hasta llegar a la edad de falla deseada.

En esta investigación los bloques se fallan con una edad de 7 días, por lo que permanecen en la cámara húmeda un total de 6 días, para ser capeados y posteriormente fallados en su día 7.

4.3 Capeo

Cumpliendo con la norma INTE C53 se capean los bloques que van a ser fallados para brindarles una superficie plana y lo más horizontal posible, con el objetivo de evitar concentraciones de esfuerzos en el bloque. Esto puede darse por las distintas imperfecciones que pueda presentar cada unidad, ya sea zonas con más material que otras o con huecos.

Este procedimiento se realiza un día antes de la falla de los bloques, para asegurar que el coronamiento se haya secado. El procedimiento se realiza de la siguiente forma:

1. Limpiar los cabeceadores de bloques a escala natural que vayan a ser utilizados. Asegurarse de que no haya material por debajo de la lámina impermeable utilizada.
2. Colocar aceite quemado en la zona que se desea colocar el bloque para facilitar el desmolde y que no se quede parte del capeo pegada a la lámina.

3. Preparar la mezcla de yeso-cemento, la cual se elabora con una proporción de 1-2, respectivamente. Además, se añade la cantidad de agua necesaria para obtener la trabajabilidad buscada. Se busca que el capeo sea lo más delgado posible, sin embargo, si la mezcla es muy líquida dura mucho tiempo en fraguar.
4. Colocar la cantidad de mezcla yeso-cemento necesaria para un bloque sobre la lámina, luego se coloca el bloque sobre la mezcla, ver Figura 22.
5. Utilizar el nivel de mano sobre la superficie del bloque y moverlo hasta que la superficie se encuentre nivelada. Se recomienda colocar el nivel una vez paralelo a la dimensión más grande del bloque y dos veces perpendicular a la misma.
6. Dejar el tiempo necesario para que la mezcla fragüe, esto se puede comprobar con los excesos que se tienen alrededor del bloque. Si se quiere, se puede eliminar el exceso de mezcla con una espátula, pero, no es indispensable.
7. Levantar cuidadosamente el bloque y eliminar la mezcla que sobresalga de la superficie. Toda el área bruta del bloque debe ser cubierta por la mezcla de yeso-cemento.



Figura 22. Bloques recién capeados esperando la fragua

4.4 Falla de los bloques

En esta investigación se utilizó una máquina universal MTS del Laboratorio de Estructuras del LanammeUCR, a la cual se le cargan todo tipo de ensayos y puede controlar la carga tanto a compresión como en tensión. Además, se puede obtener una curva de la carga aplicada, pero en este caso solo interesa la carga última.

La falla de los bloques como se ha mencionado anteriormente se realizó a los 7 días, se considera que es la edad adecuada para realizar una calibración como la que se quiere realizar con esta máquina. Como no se tiene una idea clara de cómo va a responder la máquina al tener un nuevo molde con una escala más grande que el anterior, en el que no se sabe si funciona con más agregado, con una menor relación A/C, con más vibrado, son muchos los factores que pueden influir en su resistencia, entonces no vale la pena esperar los 28 días para conocer la resistencia de los bloques que se desmoldaron en buenas condiciones para conocer su capacidad.

La norma (INTE C50, 2015) dice que la velocidad de falla debe ser tal que, a partir de que se alcanza la mitad de la carga de falla esperada hasta la falla del espécimen el tiempo que debe pasar debe ser entre uno y dos minutos. En este caso se utilizó una velocidad de 0.8 mm/min durante toda la falla. Sin embargo, en una investigación como esta, es complicado conocer antes de la falla cuál será la carga última, ya que no se sabe la capacidad de los bloques de mampostería.

Por el tamaño de las celdas de carga y de los bloques, estos se colocan con unas placas de acero, las cuales se pueden observar en la Figura 23. Esto se realizó para evitar concentraciones de esfuerzos. La placa superior tiene una masa de 966.4 g la cual fue tomada en cuenta para averiguar la resistencia a compresión de todos los elementos de mampostería.



Figura 23. Demostración de placas utilizadas para la falla

5 CARACTERÍSTICAS DE LA MÁQUINA

5.1 Descripción del bloque y molde

El bloque se elabora mediante moldes fabricados a la medida según especificaciones dadas por los diseñadores de la máquina de bloques.

En esta investigación se utiliza por primera vez el molde para producir bloques a escala reducida 1/4. Sus dimensiones son de 97,5mm de largo, 37,5mm de ancho y 47,5mm de alto por lo que tiene las dimensiones de un bloque de 15cm a escala reducida 1/4, estas dimensiones se pueden ver en la Figura 24.

El volumen del bloque es de $107,28\text{cm}^3$ y es importante señalar que el tamaño de la celda se va disminuyendo de la parte superior a la inferior, esto se puede ver en la Figura 25.

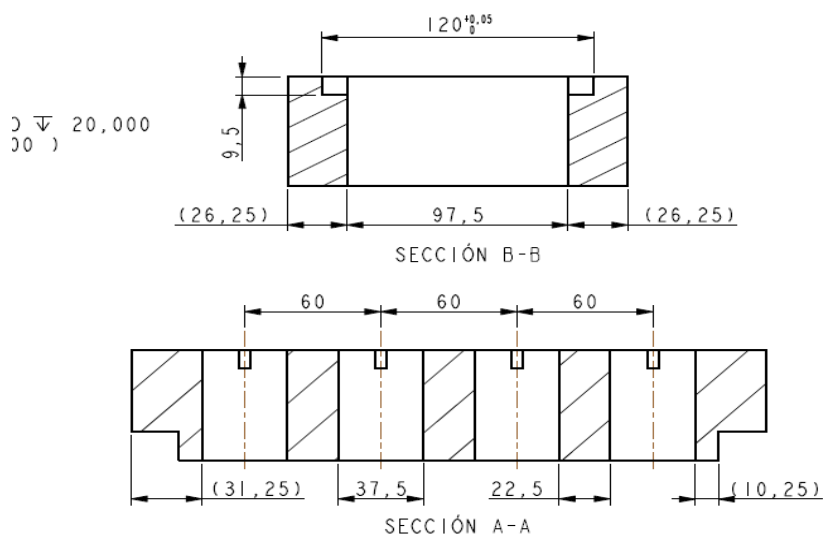


Figura 24. Dimensiones externas del bloque de mampostería a escala reducida 1/4

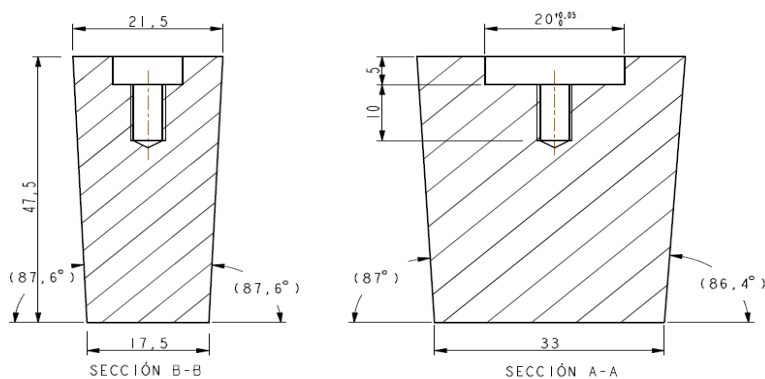


Figura 25. Diseño de la celda de los bloques

Esta variación en el tamaño de la celda se hizo pensando en facilitar el desmolde de los bloques. Este beneficio se debe a que se reduce el área de contacto entre el bloque y el molde evitando la fricción que se presentaba en el modelo anterior.

Lo anterior es tomando en cuenta que, para desmoldar el bloque, este es empujado de arriba hacia abajo por el pistón de compresión y como la pared del bloque es ligeramente más gruesa en la parte inferior del bloque, al este ser empujado, el contacto del bloque y el molde en esa zona se elimina.

Para el cálculo de la resistencia a compresión de los bloques se decidió utilizar un área transversal calculada en base a las dimensiones establecidas en planos. Es decir, un área neta nominal de 20.0075cm^2 .

5.2 Descripción de piezas importantes en la máquina

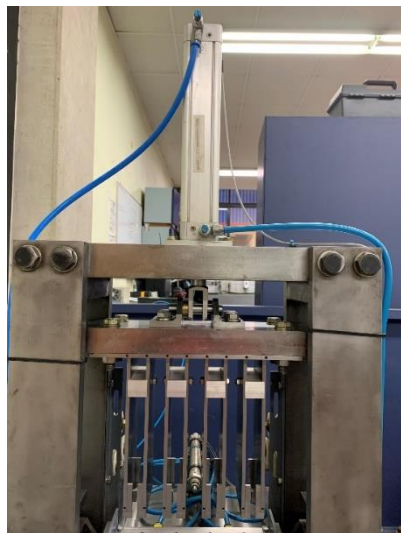
Como se mencionó en el marco teórico se utiliza una máquina que fue diseñada por estudiantes de la Universidad de Costa Rica (UCR) para fines de investigación del LanammeUCR, esta se muestra en la Figura 26.



Figura 26. Máquina de bloques de concreto a escala reducida

En la Figura 27, se pueden observar los dos pistones neumáticos que permiten el funcionamiento de la máquina. En la Figura 27a) podemos ver el pistón superior que se encarga de mover el estampador, cuya función es introducir el material dentro del molde, compactar la mezcla y finalmente desmoldar los bloques empujándolos a través del molde. En la imagen 27b) se muestra el pistón inferior, se puede apreciar que este es más robusto que el superior,

esto se debe a que su función es sostener la placa base para el molde, sobre la cual van a permanecer los bloques una vez que se hayan desmoldado. El pistón inferior debe de tener una mayor capacidad que el superior para controlar la velocidad y tiempo de desmolde.



a) Pistón superior y estampador



b) Pistón inferior

Figura 27. Pistones neumáticos de la máquina

La placa con la que se obtuvo más eficiencia en la fabricación de bloques es la de acrílico, ya que esta no se oxida en la cámara húmeda y por ser de este material es más económica y fácil de elaborar que las placas de hierro o aluminio, ver Figura 28, de esta forma se puede tener una mayor cantidad de placas y elaborar más tandas de bloques por día.



Figura 28. Placas de acrílico utilizadas

El molde con escala 1/4 tiene 4 cavidades para colocar los núcleos, en la Figura 29 se muestran numeradas de uno a cuatro de izquierda a derecha para poder revisar si la ubicación de fabricación del bloque afecta a su resistencia.

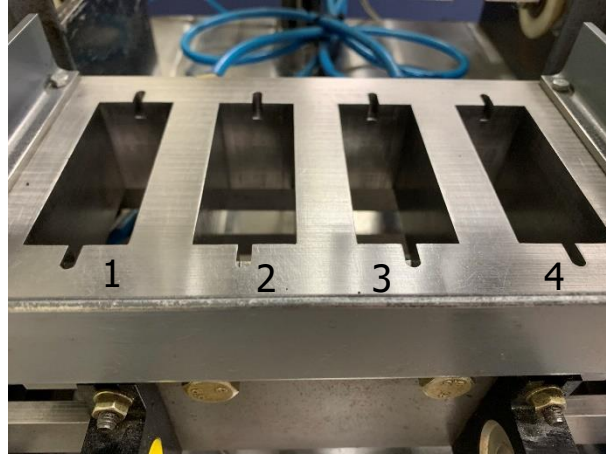


Figura 29. Molde con su numeración

En la Figura 30 se muestra el tope mecánico que garantiza la altura buscada del bloque de 47.5mm. En la Figura 30a) se observa el pistón inferior sosteniendo la placa del receptor en el molde, listo para colocar mezcla. En la Figura 30b) se observa el tope en funcionamiento, ya que se activa el pistón superior y este es detenido por el tope.



a) Pistón sosteniendo placa de receptor



b) Tope en funcionamiento

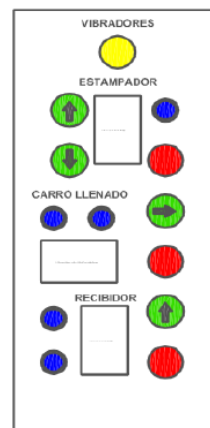
Figura 30. Tope mecánico para garantizar altura del bloque

Por último, se tiene la botonera que controla el funcionamiento de la máquina, esta cuenta con una opción automática para seguir un procedimiento automático, sin embargo, todavía no funciona adecuadamente. En el panel derecho están los botones que, permiten tener un control manual de las funciones como se muestran en la Figura 31a) y con más detalle en la Figura

31b). En el panel izquierdo está la función del carro de llenado, sin embargo, no se encuentra disponible todavía.



a)



b)

Figura 31. Botonera de control para la máquina

5.3 Preparación de la máquina

Antes de realizar la mezcla de concreto es muy importante asegurarse de que la máquina está funcionando en óptimas condiciones, de esta manera se evitan problemas al fabricar los bloques y desperdicio de material.

Para verificar el adecuado funcionamiento de la máquina se realiza el procedimiento que se describe a continuación:

1. Colocar los núcleos dentro de cada cavidad del molde. Este paso se hace con la máquina apagada para evitar cualquier problema con el estampador. Se recomienda colocar siempre el mismo núcleo en cada cavidad, de esta manera se reducen las posibles fuentes de error para los bloques. Es necesario que el núcleo sea colocado hasta el fondo, con su superficie superior al ras de la superficie del molde, esto permite que no haya espacios entre el núcleo y la placa recibidora, evitando filtraciones de la mezcla.
2. Conectar la manguera a la línea de aire comprimido del edificio A del LanammeUCR y abrir el paso del aire.

3. Conectar la máquina a la electricidad y encenderla en el modo manual, para esto se gira el interruptor en contra de las manecillas del reloj.
4. Verificar el funcionamiento adecuado del estampador y el receptor, para esto se sugiere activar de primero el estampador hacia arriba, de esta manera si se da un movimiento brusco por la rápida entrada del aire es muy pequeño y no se corre el riesgo de lastimarse. Luego se acciona el mismo estampador varias veces, hacia abajo y hacia arriba, prestando atención en que el desplazamiento se realice a una velocidad suave y constante, que no se trabaje ni se generen vibraciones en la máquina. Después se acciona el receptor hacia arriba y abajo comprobando lo mismo que en el caso anterior, movimientos suaves. Por último, se comprueban en conjunto, esto es para simular el desmolde de los bloques, esta etapa es muy importante ya que en ocasiones puede ser que las dos revisiones anteriores son positivas y esta no. Si es necesario se ajusta la velocidad de alguno de los pistones para que sea similar entre sí, así no se generan vibraciones o golpes que puedan perjudicar la integridad de los bloques.
5. Si el paso anterior no es satisfactorio se debe engrasar la máquina. Para esto se utiliza una pistola de grasa, puede ser una normal que se encuentra en la bodega o una neumática que tienen en el departamento de mantenimiento, en la Figura 32, se encierra en un círculo rojo donde se debe colocar la pistola para engrasar la máquina. Esto se realiza en ambos lados de la máquina y si fuera el caso se hace para el estampador y el receptor. Al introducir grasa nueva en la máquina, se expulsa la grasa vieja y sucia, limpiarla con mecha.
6. Se realiza de nuevo el paso 4 hasta tener un resultado satisfactorio.
7. Colocar la placa que recibirá los bloques sobre el pistón inferior, subir el receptor y comprobar que no levante el molde, si se levanta el molde se debe colocar la placa de otra forma, ya sea girándola o dándole la vuelta. Si se sigue levantando el molde se prueba con otra placa.



Figura 32. Zona donde se engrasa la máquina

5.4 Funcionamiento de la máquina

A lo largo de la investigación se han descubierto algunos detalles sobre el funcionamiento de la máquina que son importantes de resaltar.

5.4.1 Aire comprimido

Esta máquina es neumática, por lo que es de vital importancia que se conecte al compresor grande con el que cuenta el edificio A del LanammeUCR. En el transcurso del proyecto por razones de mantenimiento de dicho compresor se tuvo que utilizar uno portátil que tienen en el Laboratorio de Estructuras y aunque brindaba la presión adecuada no proveía la misma estabilidad.

Esto se veía reflejado en una caída de presión en el momento que la bomba del compresor portátil arrancaba, por lo tanto, en ese instante la máquina pierde fuerza. Si además, ese instante ocurre al momento de desmoldar, el pistón superior se queda pegado y los bloques son aplastados.

5.4.2 Vibrado

El vibrado no se transmite uniformemente en el molde hacia los 4 bloques, esto se debe a la ubicación y orientación de los bloques. Como se puede ver en la Figura 33, los vibradores están casi en línea con los bloques 1 y 4, esto genera que reciban una mejor vibración e incorporación de la mezcla los bloques de los extremos del molde que los del centro.

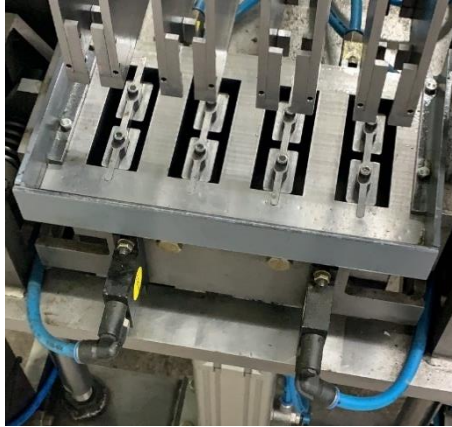


Figura 33. Ubicación de vibradores en el molde

5.4.3 Tope mecánico

Como se mencionó anteriormente el tope permite garantizar la altura buscada para el bloque. Esto tiene implicaciones en los métodos de fabricación que no se habían considerado al inicio de la investigación.

Inicialmente se pensaba que la máquina comprimía la primera capa de material y luego la segunda capa, sin embargo, como se garantiza una separación entre el estampador y la placa base del molde, el material de la primera capa no es comprimido, sino simplemente introducido dentro del molde.

Además, con el avance del proyecto se descubrió que la separación era menor de lo que debe de ser, esto perjudica los resultados ya que los bloques fabricados eran mucho más pequeños en altura de lo que deberían. La altura que debía ser de 47,5mm estaba siendo de aproximadamente 39,5mm. Una diferencia de 8mm que en escala reducida significa un 16,8%.

Este problema se pudo corregir ampliando la longitud de cada una de las barras del tope, en la Figura 30, se puede ver que el tope consiste de 4 barras prismáticas en forma de cilindro alrededor del riel de desplazamiento. Para ampliar la longitud de estas barras y recuperar los 8mm que se compacta de más a los bloques, lo que se hizo fue colocar unas piezas cilíndricas huecas que se muestran en la Figura 34. Además, se cambia a unos tornillos más largos para poder amarrar esa nueva pieza a la máquina y a las barras ya existentes.

Sin embargo, muchos de los diseños de mezcla ensayados se realizaron con esa altura inadecuada. Por lo que esto es una nueva limitación que no se había considerado al iniciar la investigación.



Figura 34. Solución al problema de altura del tope mecánico

5.5 Limpieza

Es muy importante limpiar detalladamente la máquina y todas las piezas que entran en contacto con la mezcla de concreto para evitar que se oxiden, de esta manera se garantiza su correcto funcionamiento y se alarga la vida útil de cada uno de sus componentes.

Si se va a seguir trabajando con la máquina no es necesario realizar una limpieza muy exhaustiva, al realizar más de una tanda de bloques con la misma mezcla no es necesario limpiar entre tandas.

Para hacer cualquier tipo de limpieza, el recibidor se coloca en su posición más baja y encima se le coloca una bandeja para recoger los residuos que se van a caer durante la limpieza.

Si inmediatamente después de haber realizado una tanda de bloques se va a elaborar otra mezcla, se recomienda limpiar bien la máquina, pero sin sacar los núcleos del molde, esto para evitar que se introduzca material donde se sostienen los núcleos y esto genere que no se puedan colocar adecuadamente para la siguiente tanda de bloques. En este caso, se limpia con espátula y mecha. Lo más importante es la limpieza con la mecha para que no se encuentre material viejo en el molde que ya se haya secado y perjudique a la siguiente tanda.

Se introduce la mecha por la entrada superior del molde y a través de este, hasta que una parte de la mecha salga por la parte inferior del molde. Luego sosteniendo la mecha, se realiza un movimiento en el sentido arriba-abajo, asegurándose de que la mecha se encuentre en contacto con las paredes del molde y del núcleo ya que ahí es donde hay material adherido. Esto se realiza en cada espacio del molde y a cada lado del núcleo, se hace una revisión visual

de que no haya material después de realizar esto. Importante limpiar bien las cuatro aristas de cada cavidad para los bloques. Después con la misma mecha se limpia el estampador.

Cuando ya no se va a utilizar la máquina se debe realizar una limpieza detallada para que no quede mezcla en la máquina. De primero se sacan los núcleos y se colocan en alguna mesa para limpiarlos más adelante.

5.5.1 Piezas fijas

Se recomienda limpiar de primero las piezas que están atornilladas a la máquina y por lo tanto son un poco incómodas de limpiar, estas serían el molde, el estampador y los alrededores que puedan haber tenido algún contacto por mezcla que se cae.

Al no tener núcleos dentro del molde limpiarlo es más sencillo, con mecha se limpia bien cada una de las cavidades del molde, introduciendo la mano y limpiando cada una de las cuatro paredes internas, ver Figura 35, con la punta del dedo cubierto con mecha se limpian las aristas o se puede utilizar una técnica similar a la explicada en la sección anterior, moviendo la mecha de arriba abajo.



Figura 35. Limpieza del molde con la mecha

Luego se procede con la limpieza del estampador, se le pasa mecha en su exterior hasta que este quede limpio y luego en su interior con mucho detalle, ya que esta zona por ser más pequeña tiende a almacenar más restos de mezcla. Se realiza un movimiento de lado a lado con la mecha. Después se puede limpiar las zonas con poco espacio dentro del estampador con un cepillo de dientes como se ve en la Figura 36.

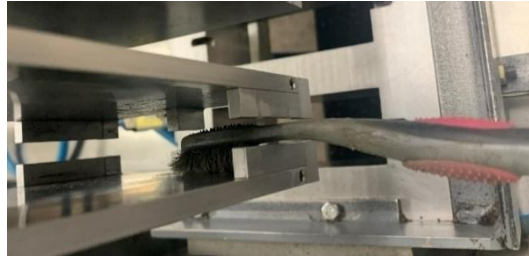


Figura 36. Limpieza del estampador con cepillo de dientes

Por último, se cierra la llave de la entrada de aire, se accionan los vibradores hasta sacar todo el aire que siga dentro de las mangueras y se desconecta la manguera de la máquina. Esta se conecta a una pistola para disparar el aire comprimido y así poder limpiar de mejor manera el molde y el estampador. Rociar con WD-40 para conservar de la mejor manera el molde y el estampador.

5.5.2 Piezas móviles

Los núcleos que se encuentran fuera del molde son muy fáciles de limpiar.

1. Frotarlos con mecha para soltarles toda la mezcla que se les haya adherido en la fabricación de los bloques, en las paredes cortas que se encuentran muy cerca una de la otra es muy difícil introducir el dedo para limpiar ya que no cabe. Ahí se introduce la mecha y se mueve de manera similar a como se ha mencionado anteriormente.
2. Con una cuchilla se separa la mezcla que se quedó pegada en la parte superior del molde, ver Figura 37, tanto en los agujeros de los pernos como en la zona que permite el almacenamiento de mezcla por encima del núcleo. Es importante limpiar

bien la zona de unión entre dos piezas perpendiculares, ya que en esa arista se almacena adhiere mucho material.



Figura 37. Limpieza de agujero de los núcleos con cuchilla

3. Luego con un cepillo de dientes se limpia toda la zona superior del núcleo, misma zona que se limpió antes con la cuchilla. Asegurarse de sacar toda la mezcla que se introdujo en el agujero de los pernos y no pudo sacarse con la cuchilla. Además, gracias a sus finas cerdas, el cepillo es muy útil para limpiar la zona de unión entre partes del núcleo.
4. Frotar de nuevo los núcleos con una mecha completamente limpia para asegurarse de que no quede material adherido, ver Figura 38, para saber cómo deben de quedar los núcleos antes del último paso.
5. Rociar los núcleos con WD-40 para conservarlos del polvo.



Figura 38. Núcleos limpios

5.6 Variables de la máquina

El proceso de fabricación de los bloques se puede ver afectado por distintas variables que tiene la máquina, por lo que, se va a definir cuáles son estas y las que se van a mantener fijas.

5.6.1 Vibradores

La presión de entrada para los vibradores se mantendrá constante durante toda la investigación, para que esta variable no repercuta en el tamaño de la muestra a estudiar.

Lo que si va a variar es la cantidad de segundos de vibrado que se van a utilizar, esto se puede ver específicamente en la explicación de los procedimientos de fabricación que se detallan en la sección XX.

5.6.2 Estampador

Su función principal es la de compactar la mezcla, por lo que la variable a controlar es la cantidad de veces que se compacta o por decirlo de otra manera la cantidad de capas. Esta será una variable que se mantendrá fija en toda la investigación, se decidió fabricar todos los bloques en dos capas.

Se descubrió durante la investigación que la primera capa no se compacta debido al tope mecánico, sino que, es simplemente empujada dentro del molde por la herramienta de llenado de la Figura 20 y el estampador. Mientras que, la segunda capa al tener el molde lleno de mezcla con un ligero excedente, si es compactada por el estampador.

6 ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1 Utilización de curvas de diseño de Castro, 2005

Como ya se había probado en la tesis de (Salas, 2015), la utilización de las curvas elaboradas por (Castro, 2005) no es viable, ya que estas fueron elaboradas para los moldes de acrílico con compactación manual, donde se les permite fraguar de 30 minutos hasta 3 horas.

Con las pruebas iniciales se utilizó estas curvas y no se tuvo resultados satisfactorios, sin embargo, sirvió para tener una idea de las relaciones A/C y los %Ag que se iban a utilizar para realizar la calibración de la máquina.

Al final, se pudo realizar bloques con algunos puntos similares a los que constituyen la curva de diseño de (Castro, 2005). Es importante señalar que los puntos que funcionaron son los que generaron mezclas más secas, ya que esto es muy importante para el desmolde rápido que se realiza con los bloques de la máquina.

Por lo tanto, si se pudo fabricar bloques con los puntos más secos de estas curvas, con la diferencia de que las resistencias alcanzadas por dichos bloques no son iguales a las alcanzadas por Castro.

El diseño de mezcla con un 50% de agregado y una relación A/C de 0.5 se pudo utilizar en la máquina, conocido como B2 en esta investigación, sin embargo, en el caso de Castro se alcanzó más de 233 Kg/cm² y en esta investigación la resistencia fue de 187 Kg/cm².

El diseño de mezcla con un 55% de agregado y una relación A/C de 0.5 se pudo utilizar en la máquina, conocido como C2 en esta investigación, sin embargo, en el caso de Castro se alcanzó 201 Kg/cm² y en esta investigación la resistencia fue de 163 Kg/cm².

6.2 Análisis de las curvas de diseño

A continuación, se presentan las curvas de diseño de mezcla para ambos métodos de fabricación. En la Figura 39, se puede observar la curva de diseño para el método 1, se evidencia el comportamiento de los bloques dependiendo de los dos parámetros estudiados.

Cuanto mayor sea el porcentaje de agregado en la mezcla menor será su resistencia, al tener mucho agregado el bloque disminuye su capacidad de aumentar su resistencia con el

tiempo, esto se debe a la cantidad de cemento presente. Entre más cemento, mayor será la cantidad de pasta en el bloque, así se tiene una mayor densidad y un bloque más resistente.

La influencia de la relación A/C también está clara, entre menor sea, mayor será la capacidad en compresión del bloque. Los bloques con 0.35 y 0.38 son los que tienen mayor resistencia a la compresión simple. En este caso en particular los de 0.38 tienen una mayor resistencia, eso se debe a la trabajabilidad de la mezcla y que tan bien llena el molde. La mezcla con 0.35 es muy seca y complicada de manipular, por lo tanto, genera bloques menos densos que la de 0.38.

La curva con una relación A/C de 0.55 no sigue el comportamiento de que con un mayor porcentaje de agregado se tiene una menor resistencia. Esto se explica en que se encontró el punto óptimo entre la cantidad de agregado y su respectiva relación agua/cemento. Si se mueve el diseño hacia la izquierda de su % de agregado óptimo la mezcla se vuelve más fluida y por lo tanto pierde estabilidad, en cambio, si se mueve hacia la derecha la mezcla se vuelve más seca y se hidrata menos el cemento.

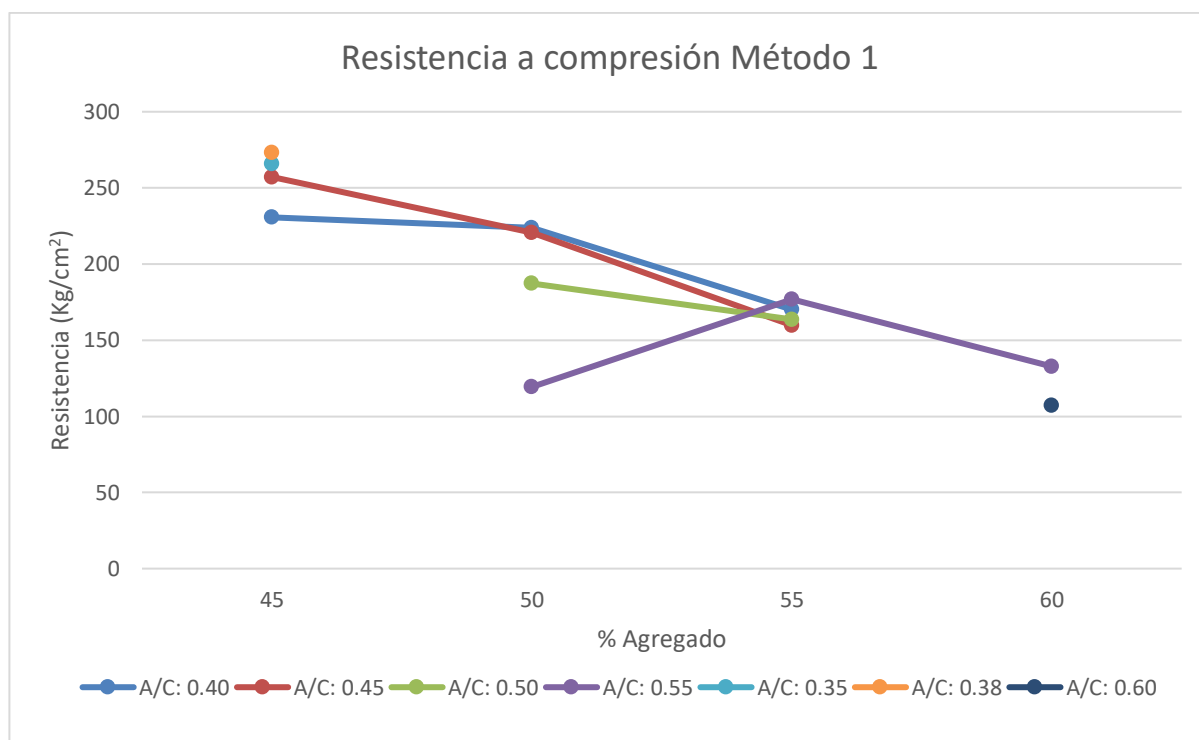


Figura 39. Curva de diseño de mezcla método 1

En la Figura 40, se presenta la curva de diseño de mezcla del método 2, en esta se observa muy claro como al aumentar el porcentaje de agregado en la mezcla la capacidad del bloque

disminuye. Se tiene un comportamiento decreciente en cada una de las curvas lo cual concuerda con la teoría.

Además, se tiene mayor capacidad a compresión con una menor relación A/C. El único caso en el que no se cumple esto es en el de 0.55 el cual tiene algunas resistencias mayores que las de 0.50. Esto se debe a la falta de material en las mezclas de 0.50 que quedaron con huecos por falta de material. Además, en los bloques de 0.55 se tuvo más práctica porque las tandas del método 1 y el 2 son similares.

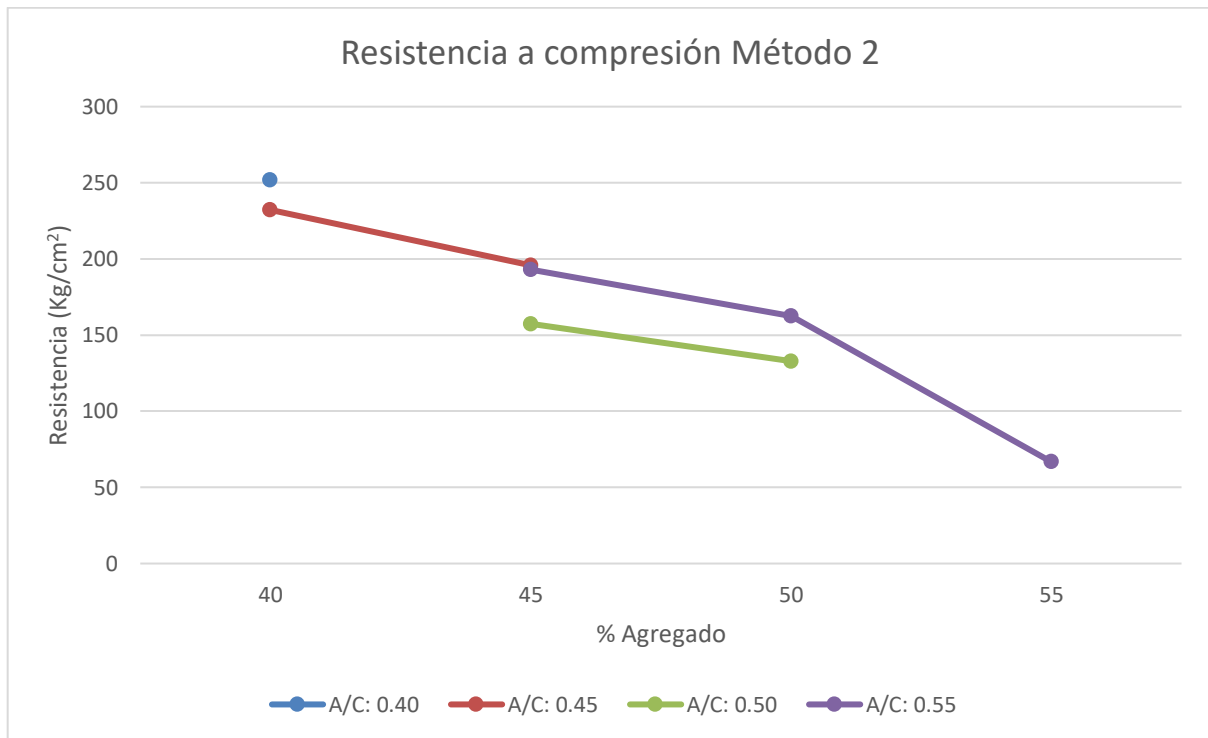


Figura 40. Curva de diseño de mezcla método 2

6.3 Análisis de resistencia según el porcentaje de agregado

Se inició la investigación con porcentajes de agregado y relación A/C de la investigación de Morales, 2018 y de Castro, 2005. Se fue variando ese par sin obtener buenos resultados, debido a eso se decidió disminuir lo más posible el % de agregado para así obtener bloques muy resistentes.

El primer par con muy buenos resultados fue el de un 45% de agregado y una relación A/C de 0.40 a partir de ahí se fue variando el par en busca de mayor resistencia o trabajabilidad. De esta manera se definió el plan de ensayos que se muestra en esta sección.

En cuanto a la cantidad de bloques, se decidió inicialmente que se realizaría 3 tandas por diseño con 4 bloques por tanda para un total de 12 bloques por diseño. Así se obtiene una muestra apropiada. Con el avance de la investigación se pudo ver que 12 bloques eran muchos y que lo mejor era probar otros diseños, por lo que se disminuyó a 2 tandas por diseño con un total de 8 bloques y de esa manera se pudo concluir con un total de 14 diseños distintos por método.

A mayor cantidad de agregado en el diseño de mezcla, mayor será la cantidad de agua necesaria para tener una buena trabajabilidad. En los diseños de mezcla que se realizaron con el método de fabricación 2 se tuvo problemas en cuanto a la trabajabilidad de las mezclas. Como se mencionó anteriormente, este procedimiento introduce la mezcla con la vibración que tiene la máquina y con la compactación que realiza el estampador de la máquina.

Se decide subdividir los resultados según el porcentaje de agregado que se utilizó en la mezcla, de esta forma se puede apreciar cómo va variando la trabajabilidad, la apariencia del bloque y su capacidad en compresión. Todos los diseños de mezcla realizados y sus características se presentan en el Cuadro 20.

Cuadro 20. Diseños de mezcla realizados

		Relación A/C						
		0.35	0.38	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60
% Agregado	45	A0	A1	A2	A3	-	-	-
	50	-	-	B0	B1	B2	B3	-
	55	-	-	C0	C1	C2	C3	-
	60	-	-	-	-	-	D0	D1

Como se ha visto, los núcleos de los bloques tienen unos soportes por encima de las paredes cortas, estos hacen que la mezcla no entre directamente en el centro de la pared, sino que debe introducirse a los lados del núcleo y luego con la vibración se consolida por debajo de ese soporte del núcleo. Al tener mezclas muy secas no se acomodan por debajo de ese soporte y las paredes cortas salen divididas a la mitad.

En la Figura 41, se puede ver como la resistencia de los bloques disminuye conforme aumenta la cantidad de agregado en la mezcla. Esto es consistente con la teoría ya que mientras más cemento haya en el diseño, mayor será su capacidad en compresión.

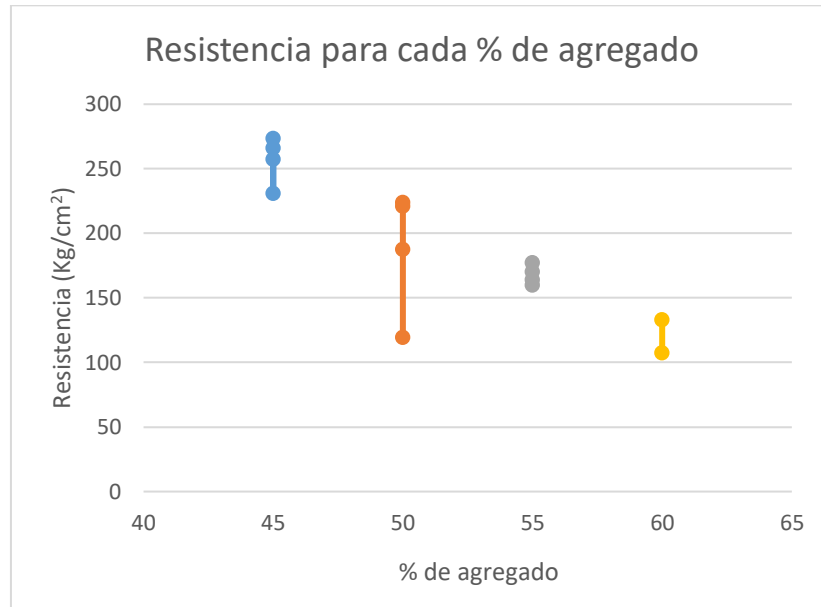


Figura 41. Comparación de capacidad en cada diseño

A continuación, se presenta el comportamiento que tienen los bloques en sus distintos porcentajes de agregado del total de la mezcla conforme se cambia su relación agua/cemento. De esta forma se puede averiguar cuál es el contenido óptimo de agua para cada diseño de mezcla.

El factor fundamental es la trabajabilidad que tiene la mezcla, es buscar el punto medio entre una buena trabajabilidad para llenar lo más eficientemente posible los bloques y una mezcla que pueda desmoldarse inmediatamente se termine la fabricación y sea capaz de mantener sus paredes aplomadas y sin deformarse.

Como se puede ver en las Figuras 42, 43, 44 y 45, el comportamiento de cada curva es diferente, esto se debe principalmente a la trabajabilidad que tiene la mezcla, que tan densos y llenos quedaron los bloques y a que sus paredes sean bien aplomadas.

En el caso de 45% de agregado en la Figura 42, se puede ver que el último diseño realizado el A3 tiene una mayor resistencia que el A2, pero esto ocurre en la resistencia promedio, ya que, si analizamos los bloques individualmente, hay varios de este último diseño que no se encontraban en condiciones apropiadas.

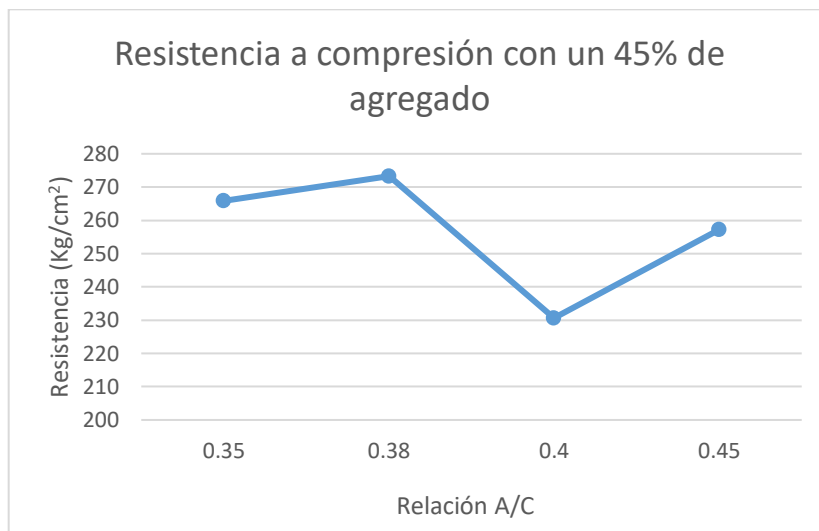


Figura 42. Curva de resistencia con 45% de agregado

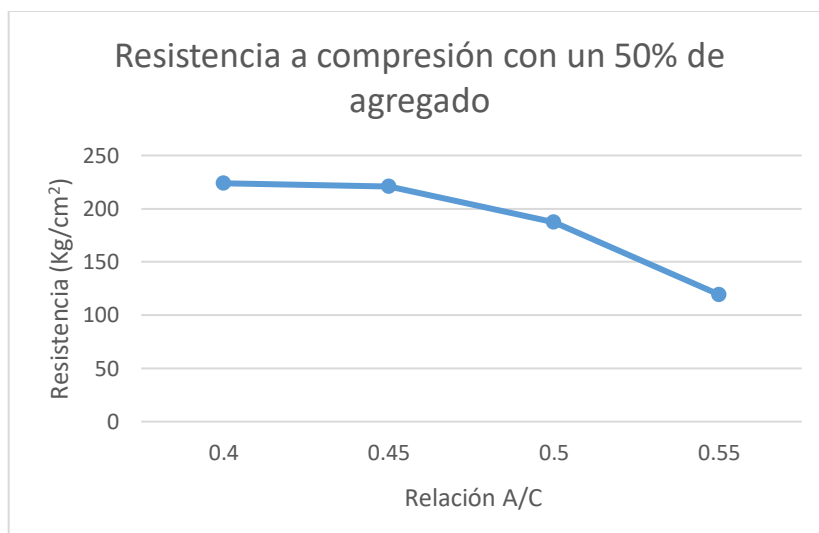


Figura 43. Curva de resistencia con 50% de agregado

Los bloques con un 50% de agregado que se pueden ver en la Figura 43, son los que tienen el comportamiento que se considera ideal y el esperado, donde los bloques disminuyen su resistencia conforme se aumenta la cantidad de agua en la mezcla.

En el caso de los bloques con un 55% de agregado de la Figura 44, el diseño C1 y C2 tienen una capacidad muy similar, aunque el C2 llena de mejor manera los bloques, por lo que su resistencia es ligeramente superior. En cuanto al C3 se descubre que este es el que llena mejor los bloques, a pesar de ser el más fluido, logra mantener estabilidad en las paredes de los bloques.

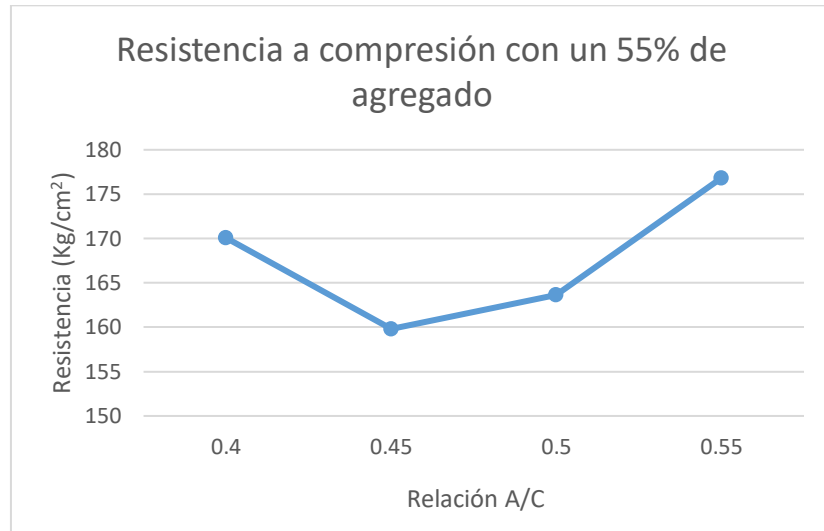


Figura 44. Curva de resistencia con 55% de agregado

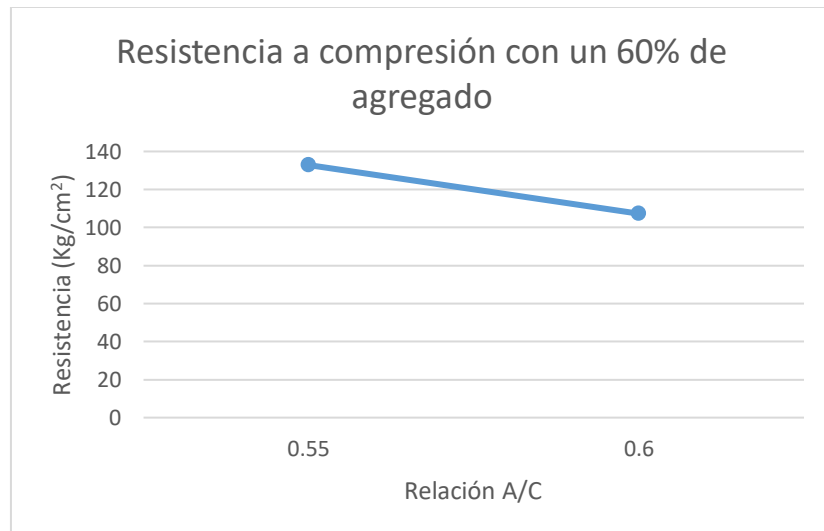


Figura 45. Curva de resistencia con 60% de agregado

Los bloques con un 60% de agregado de la Figura 45, presentan el comportamiento esperado donde una mayor cantidad de agua implica menor resistencia. Sin embargo, es necesario probar otros diseños con una mayor relación A/C para revisar si llenan mejor el molde y por lo tanto obtienen una mayor capacidad en compresión.

En el método 2, muchos de los diseños realizados no tenían la trabajabilidad adecuada para la máquina, por lo que no se llenaba bien el molde o no mantenían su estabilidad al ser desmoldados. Solo se presentarán los resultados de los bloques que si estaban en condiciones

de ser capeados y llevar a la falla para conocer su capacidad. Los diseños que se probaron se presentan en el Cuadro 21.

Cuadro 21. Diseños de mezcla realizados

		Relación A/C						
		0.35	0.38	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60
% Agregado	45	A0*	A1*	A2*	A3*	-	-	-
	50	-	-	B0*	B1*	B2*	B3*	-
	55	-	-	C0*	C1*	C2*	C3*	-
	60	-	-	-	-	-	D0*	D1*

El mismo comportamiento se presenta en los bloques fabricados con el método 2, en la Figura 46, se puede ver como la resistencia de los bloques disminuye conforme aumenta la cantidad de agregado en la mezcla. Esto es consistente con la teoría ya igual que en el caso anterior. Se puede ver que en los diseños con un 60% de agregado no se obtuvo bloques en condiciones de ser fallados, esto se debe a que las mezclas eran muy secas y no tuvieron la adecuada trabajabilidad para que el procedimiento del método 2 con el vibrado consolidara la mezcla.

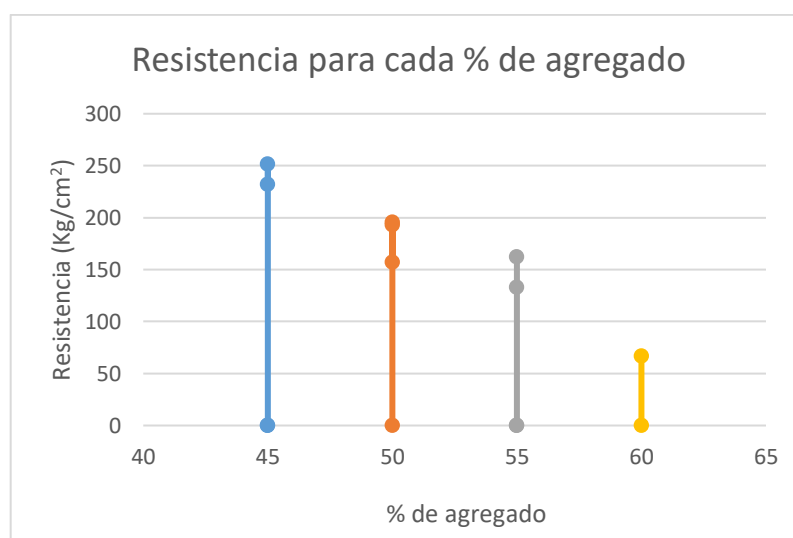


Figura 46. Comparación de capacidad en cada diseño

En los diseños de mezcla que se realizaron con el método de fabricación 2 se tuvo problemas en cuanto a la trabajabilidad de las mezclas. Como se mencionó anteriormente, este

procedimiento introduce la mezcla con la vibración que tiene la máquina y con la compactación que realiza el estampador de la máquina.

Como se ha visto, los núcleos de los bloques tienen unos soportes por encima de las paredes cortas, estos hacen que la mezcla no entre directamente en el centro de la pared, sino que debe introducirse a los lados del núcleo y luego con la vibración se consolida por debajo de ese soporte del núcleo. Al tener mezclas muy secas no se acomodan por debajo de ese soporte y las paredes cortas salen divididas a la mitad.

En los diseños con un 45% de agregado que se pueden ver en la Figura 47, se observa como los diseños A0* y A1* no eran funcionales en el método 2, luego los métodos A2* y A3* si eran trabajables, además, se cumple que a mayor contenido de agua menor es la resistencia de los bloques.

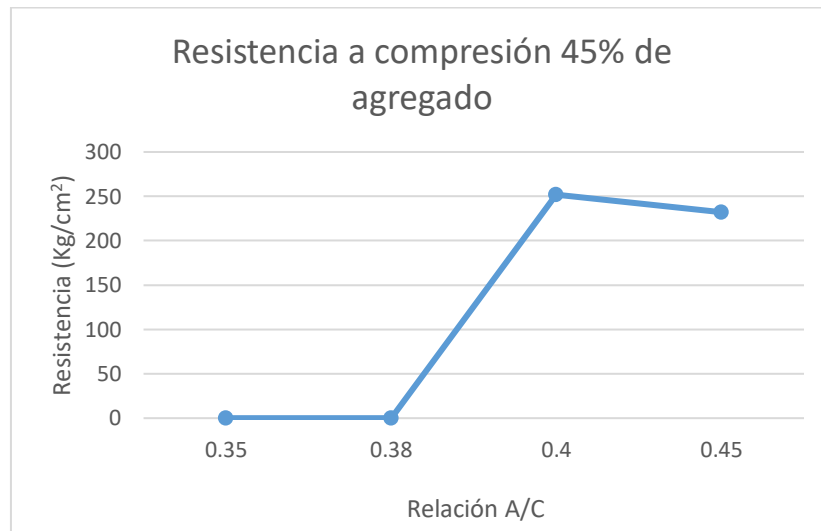


Figura 47. Curva de resistencia con 45% de agregado método 2

Los diseños con 50% de agregado en la Figura 48, tienen un B1* que no es funcional para la máquina, los otros 3 si son trabajables. Se da un comportamiento muy interesante, similar al de 45% de agregado en el método 1, se tiene un diseño B1* que funciona, luego el B2* disminuye su resistencia, pero vuelve a subir con el B3*.

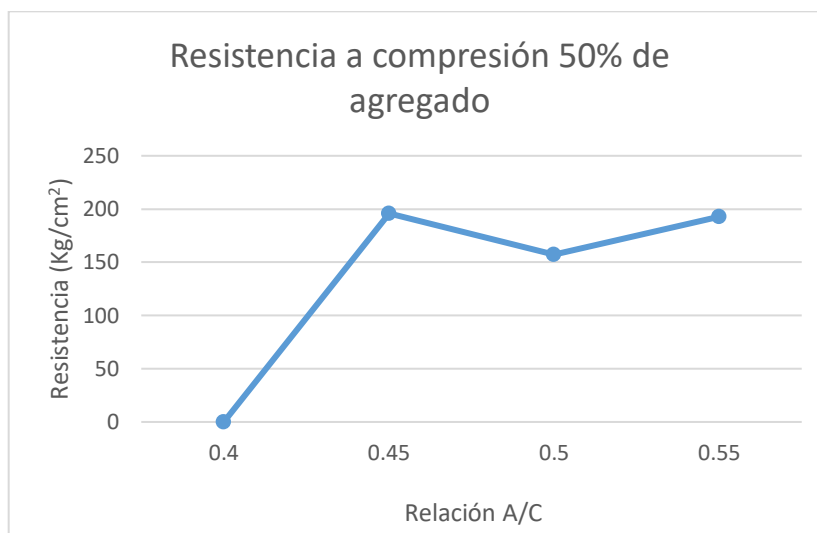


Figura 48. Curva de resistencia con 50% de agregado método 2

En los diseños con un 55% de agregado en la Figura 49, se tiene que el C0* y C1* son muy secos y no funcionan con la máquina, en cambio C2* y C3* si son trabajables, teniendo una mayor resistencia en el diseño C3*, esto puede deberse a que apenas se inicia a tener una trabajabilidad apropiada con esa relación A/C de 0.55.

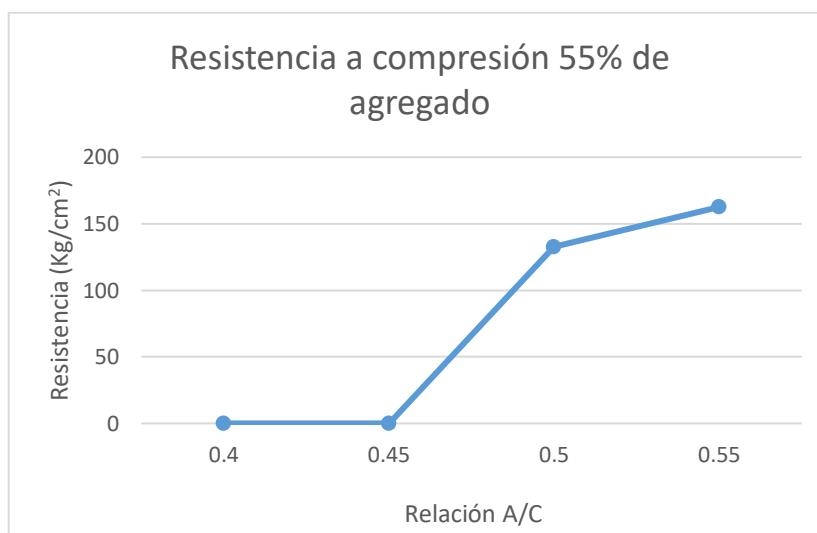


Figura 49. Curva de resistencia con 55% de agregado método 2

Las relaciones A/C utilizadas con el 60% de agregado en la Figura 50, producen mezclas muy secas que no son trabajables con este método 2, a pesar de que se utiliza la más alta de la investigación de 0.60. Se debe probar diseños con un mayor contenido de agua para conocer su comportamiento con este método de fabricación.

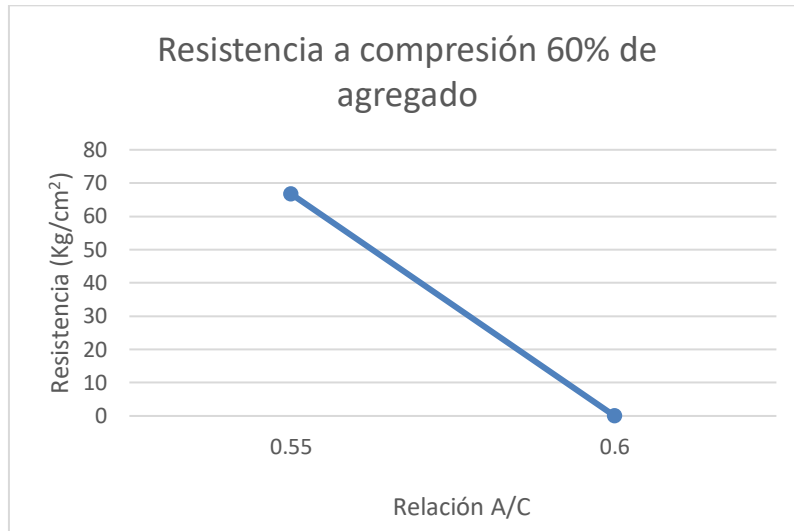


Figura 50. Curva de resistencia con 60% de agregado método 2

6.4 Análisis del efecto de la densidad en la resistencia del bloque

La densidad de los bloques es una característica muy importante para conocer si los bloques tendrán una capacidad adecuada, antes de fallarlos. Una mayor densidad quiere decir que los bloques están más llenos, al ser más densos se da una mejor distribución de esfuerzos y por lo tanto una mayor capacidad.

Es importante señalar que, para comparar bloques por su masa, estos deben tener el mismo volumen para que la comparación tenga sentido o hacer comparación entre densidades y no masas. Los bloques con la altura adecuada es lógico que tengan una mayor masa que los bloques pequeños. Se decidió comparar por densidad utilizando un volumen nominal para los bloques.

Además, como hay bloques que fueron comprimidos de más y tenían una deformación en la base, su volumen no es el mismo que el de un bloque sin deformación en la base, ante la dificultad de calcular el volumen de esos bloques deformados, esta relación se hará separando los bloques con la altura adecuada en otra gráfica.

Los bloques se pesaron secos al aire, ya que al ser utilizados para la falla no se pueden secar al horno. Sin embargo, se utilizó el mismo periodo de tiempo de secado, media hora después de sacarlos de la cámara húmeda y justo antes de capearlos.

En la Figura 51, se presentan los bloques que tuvieron una altura menor a la esperada, se puede ver que hay una clara relación entre su densidad y la capacidad alcanzada. Hay algunos casos que alteran un poco la relación, esto puede deberse a que su forma era excelente, con las paredes aplomadas y eso genera una gran capacidad a compresión.

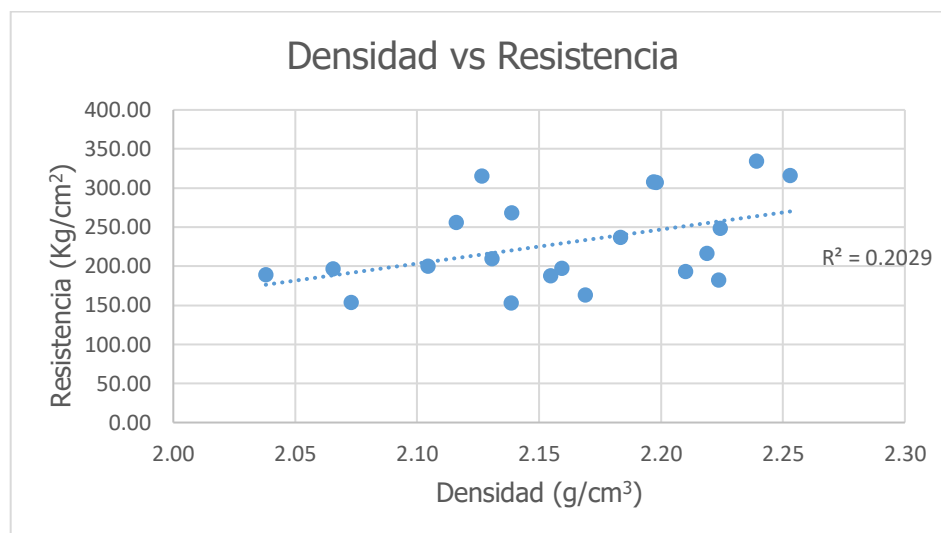


Figura 51. Relación de densidad y resistencia para bloques de menor altura

En la Figura 52, se observa una buena relación entre la densidad y la resistencia de los bloques, siendo ambas curvas paralelas en muchos de los puntos. Al final de las curvas se observa un comportamiento anómalo, donde los bloques tienen una resistencia baja comparada a su densidad. Esto puede explicarse por los vacíos presentes en los bloques del diseño B2, estos generan planos de falla, además, estos bloques tienen una baja estabilidad que genera deformaciones en sus paredes laterales. Los problemas de estabilidad también se dan en los bloques del diseño B2*.

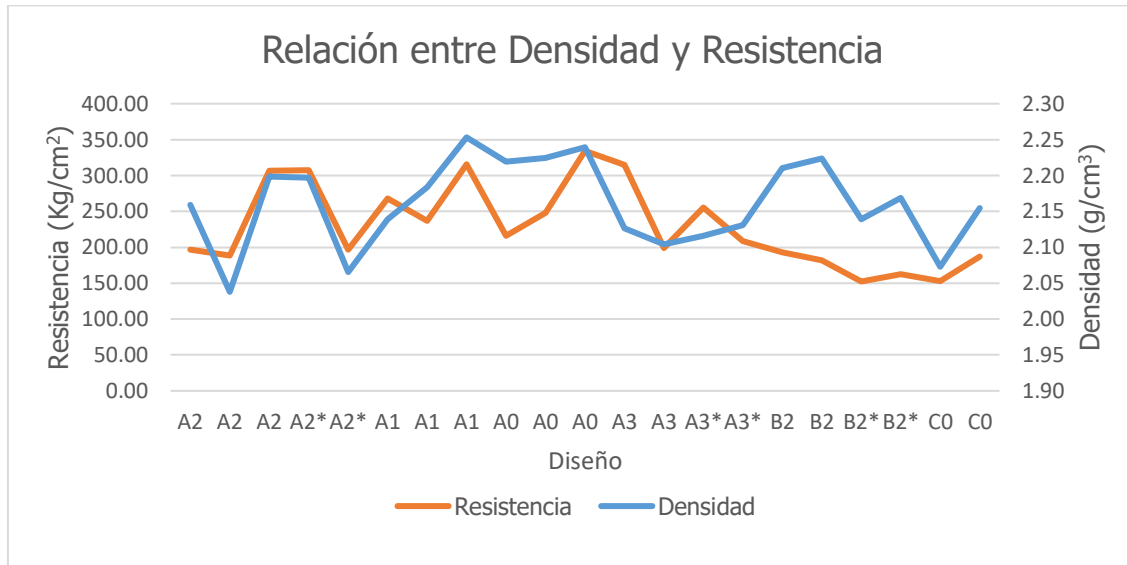


Figura 52. Comparación entre la densidad y resistencia de los bloques

En la Figura 53, se observan los bloques con la altura apropiada para representar un bloque a escala reducida 1/4. Los puntos con alta densidad y resistencia ligeramente más baja que los demás son los de los diseños D0 y D1, esto puede explicarse en el alto contenido de agregado de estos diseños, el cual genera poca pasta en los bloques y una consistencia diferente a los demás.

En el anexo C, se puede observar la información utilizada para hacer cada una de estas relaciones, el primero es de los bloques pequeños y el segundo el de los bloques corregidos en altura.

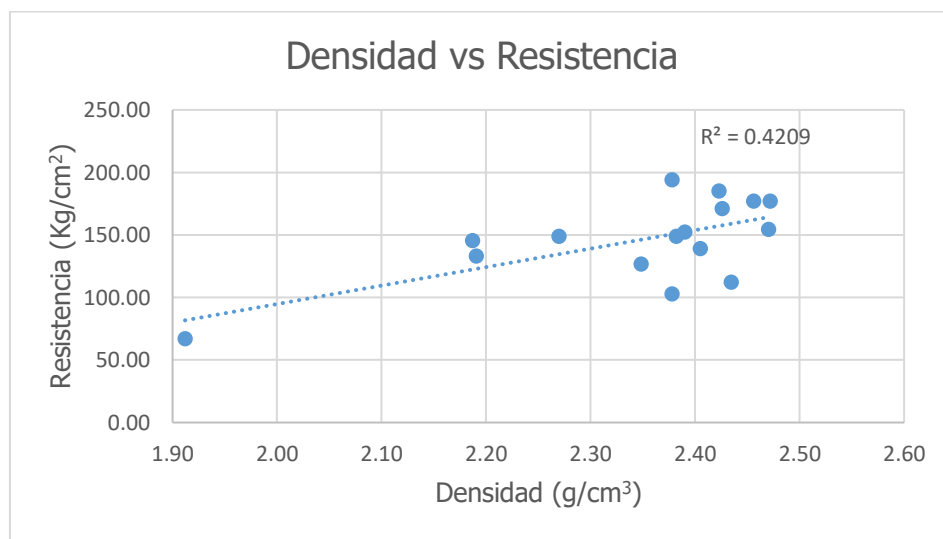


Figura 53. Relación de masa y resistencia para bloques con altura corregida

En la Figura 54, se observa un comportamiento excelente entre la resistencia y la densidad de los bloques, las dos curvas son paralelas en casi todos los puntos analizados. Esto es muy importante ya que comprueba que un factor determinante en la resistencia de los bloques es su densidad.

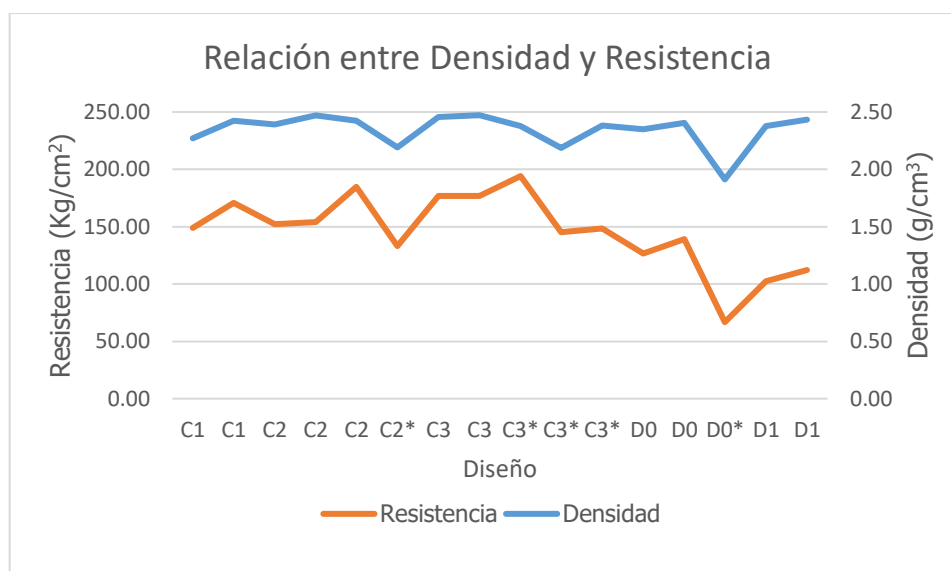


Figura 54. Comparación entre la densidad y la resistencia de los bloques con altura corregida

6.5 Análisis de la reproducibilidad de las mezclas

Conocer qué tan reproducible es una mezcla es muy importante para una investigación como esta. Ya que, no sirve tener una mezcla que una vez alcanza una resistencia de 250 Kg/cm² y el resto de las veces que se utiliza no pasa de 180 Kg/cm².

Para saber la reproducibilidad de las mezclas lo que se decidió fue utilizar el coeficiente de variación entre las tandas de bloques realizadas, este término permite conocer que tan alejados están los valores del promedio. Se definió un límite de 0.15 para determinar cuáles mezclas son reproducibles y cuáles no.

Basado en esto, se puede ver en la Figura 55, que nueve de las catorce mezclas realizadas tienen un coeficiente de variación menor al límite establecido de 0.15. Cinco de las mezclas tienen un coeficiente de variación menor a 0.10, excelente para continuar utilizando esas mezclas.

Las mezclas con más contenido de cemento que son los diseños A y B, son las que tienen los coeficientes más grandes, esto puede deberse a la falta de práctica al fabricar los bloques

porque fueron los primeros en realizarse, otra razón puede ser las diferencias presentes entre tandas de un mismo diseño en cuanto a los vacíos y los huecos, esto se analizará más adelante.

Es importante señalar que es muy diferente el cero que se obtiene con el diseño B3, solo una tanda de bloques estaba en condiciones de ser fallada, con el diseño C3, tandas de bloques tan similares que su coeficiente de desviación es de 0.00. Estos datos pueden verse de manera detallada en el apéndice C.

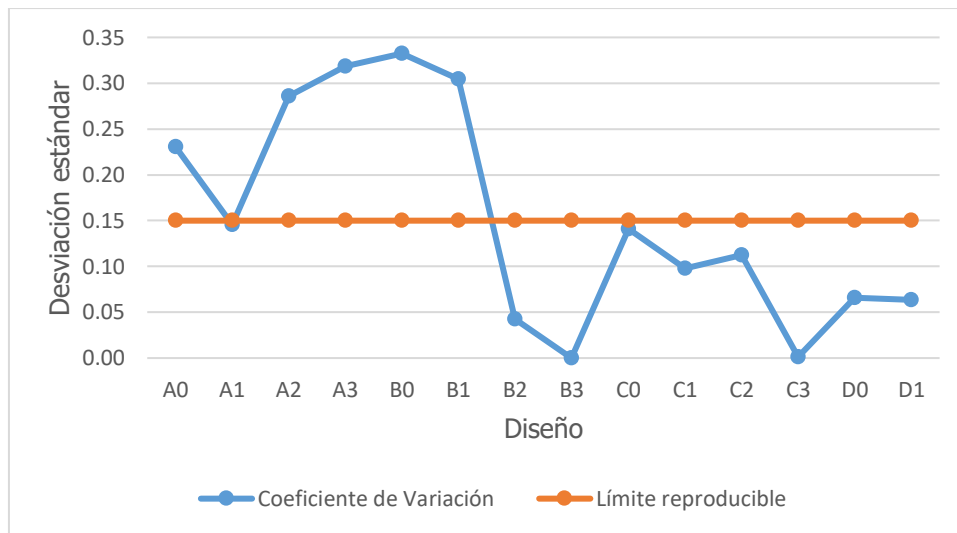


Figura 55. Reproducibilidad del método 1

En la Figura 56, se presenta el coeficiente de variación de los bloques fabricados con el método 2, en este caso los resultados son bastante malos, esto se debe a las complicaciones que se tuvo al momento de fabricar bloques con este método. Los casos en los que se tiene un cero son porque se tuvo una tanda o menos con bloques en condiciones de ser fallados.

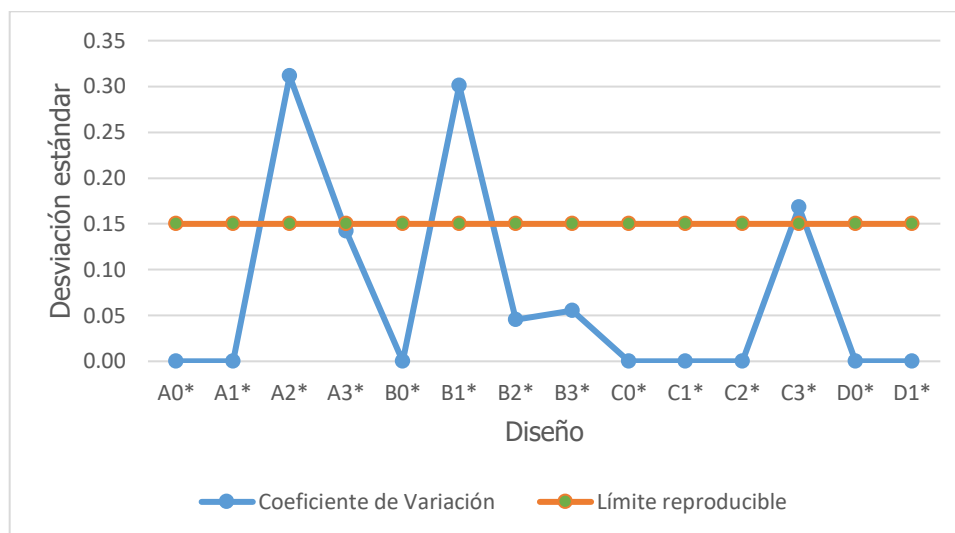


Figura 56. Reproducibilidad del método 2

6.6 Análisis de eficiencia

Es importante conocer la eficiencia de los diseños de mezcla realizados, esto porque se puede tener un diseño que obtuvo bloques con resistencias muy altas, pero solo 2 de los 8 bloques realizados pudieron llevarse a la falla. Esto quiere decir que no es un diseño eficiente y por lo tanto no sería sostenible hacer investigaciones futuras con un diseño de mezcla como ese.

Para estudiar esta característica se decidió utilizar el porcentaje de cuántos bloques del total fabricado por diseño se mezcla estaba en buenas condiciones para ser fallado. Estas buenas condiciones son forma del bloque, paredes llenas y aplomadas y la altura apropiada.

En el Cuadro 22, se puede ver que el método 1 tiene un alto % de eficiencia de un 93%, esto se debe a que el método permite una amplia cantidad de combinaciones en las características del diseño de mezcla, tanto muy secas como algo fluidas.

Cuadro 22. Porcentaje de eficiencia del método 1

Diseño	Cantidad de bloques fabricados	Cantidad de bloques fallados	% de eficiencia
A0	12	12	100
A1	12	12	100
A2	12	12	100
A3	8	5	63
B0	8	8	100
B1	8	8	100
B2	8	8	100
B3	8	2	25
C0	8	8	100
C1	8	8	100
C2	12	12	100
C3	8	8	100
D0	8	8	100
D1	8	8	100
Total	128	119	93

En el caso del método 2 los resultados no fueron tan buenos, como se puede ver en el

Cuadro 23, el porcentaje es de un 33%, este es bajo, se explica en que, como se ha analizado antes, el vibrado de la máquina no consolida las mezclas muy secas, esto hace que diseños que funcionan en el método 1 no sean posibles de utilizar en el método 2.

Además, como este procedimiento es únicamente con el vibrado de la máquina, se presentan muchos agujeros, principalmente en los bloques 2 y 3 de cada tanda.

Cuadro 23. Porcentaje de eficiencia del método 2

Diseño	Cantidad de bloques fabricados	Cantidad de bloques fallados	% de eficiencia
A0*	12	0	0
A1*	12	0	0
A2*	12	5	42
A3*	8	5	63
B0*	8	0	0
B1*	8	8	100
B2*	8	7	88
B3*	8	6	75
C0*	8	0	0
C1*	8	0	0
C2*	8	1	13
C3*	12	9	75
D0*	8	1	13
D1*	8	0	0
Total	128	42	33

6.7 Análisis de otros factores

6.7.1 Trabajabilidad en las mezclas

La trabajabilidad de las mezclas es un factor determinante ya que influye en el correcto llenado de los moldes y por lo tanto en la forma final que el bloque tiene después de ser desmoldado.

La trabajabilidad de las mezclas en esta investigación se estudió únicamente de manera cualitativa, observando la mezcla, sin embargo, se podría medir mediante la norma para determinar el flujo del mortero y así medir los diámetros en los que se expande la mezcla.

6.7.1.1 Mezclas muy secas

Estas mezclas son muy difíciles de trabajar en la máquina, ya que el vibrado no consolida la mezcla. Esto hace que sea únicamente la compactación la que acomoda la mezcla dentro de los moldes.

En el caso del método 1, se puede trabajar con este tipo de mezclas gracias a la herramienta utilizada para introducir la mezcla dentro del molde. Uno se asegura

manualmente de que se ha introducido adecuadamente la mezcla en todo el espacio disponible. Sin embargo, esto crea problemas de carácter humano, donde puede ser diferente el llenado que se realiza en la primera tanda del día al de la última. Esto ocasiona que tandas de un mismo diseño tengan vacíos que otras no tienen. En las mezclas más secas se tiene una desviación estándar más grande.

En el método 2 las mezclas muy secas no producen bloques en lo absoluto. La mezcla simplemente es empujada dentro del molde y al ser desmoldada se desploma o se observan grandes agujeros.

Ejemplos de esta consistencia son los diseños A0, A1, B0, C0, D0, D1 y sus semejantes en el método 2.



Figura 57. Mezcla seca de bloques de tanda 3 diseño A0*



Figura 58. Mezcla muy seca que no es consolidada por vibración diseño C0*

6.7.1.2 Mezclas muy fluidas

Estas mezclas permiten que el llenado de los bloques sea muy rápido, solo con vibrar el molde la mezcla se consolida y llena todos los espacios, incluidos los difíciles de alcanzar justo debajo de los soportes del núcleo. Se llega al extremo de que no es necesario utilizar la mezcla con el método 1, ya que llena adecuadamente los moldes con el método 2.

Sin embargo, el problema que presentan es la poca estabilidad de los bloques al momento de ser desmoldados. Sus paredes laterales se desploman y por lo tanto no se consiguen bloques en condiciones de ser fallados. Esto se ve reflejado en las altas desviaciones estándar de este tipo de mezclas.

Ejemplos de esta consistencia son los diseños A3 y B3 y sus semejantes en el método 2.



Figura 59. Mezcla fluida bloques de tanda 1 diseño A3*



Figura 60. Mezcla fluida bloques de tanda 2 diseño B3

6.7.1.3 Mezclas con trabajabilidad adecuada

Esta es la consistencia ideal para la máquina, permite que se llene el molde de manera adecuada, en una duración aceptable y lo más importante, que los bloques al ser desmoldados mantienen su forma y se encuentran bien llenos.

Estas son las mezclas más consistentes, con desviaciones estándar pequeñas y la mejor forma posible. Donde las paredes se encuentran bien llenas, se observa un bloque denso y con muy pocos vacíos y planos de falla.

Ejemplos de esta consistencia son los diseños A2, B1, B2, C1, C2 y C3 y sus semejantes en el método 2.



Figura 61. Mezcla con buena trabajabilidad bloques de tanda 2 diseño B1

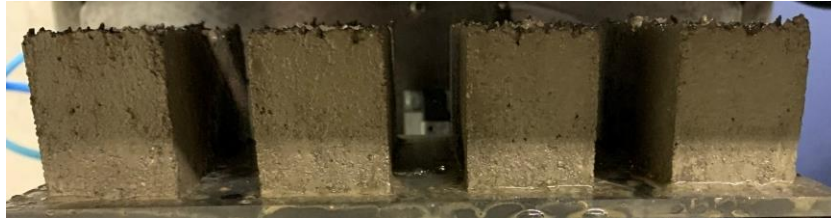


Figura 62. Mejor mezcla bloques de la tanda 2 diseño C3

6.7.2 Deformación en la base

En los diseños de mezcla realizados en esta investigación se presentó el problema de tener deformación en su base, esta consiste en una extensión de la base del bloque. Se presentaron dos casos, en el primero la deformación se generó hacia afuera del perímetro normal de un bloque, en el segundo, la deformación se dio hacia adentro de las celdas.

Se considera que la segunda deformación es menos grave que la primera, ya que no afecta la correcta colocación de los bloques en un muro, permitiendo que el tamaño de la cisa se mantenga uniforme. Sin embargo, lo buscado es que no se presente esa deformación.

Durante la investigación se descubrió que esta deformación se debe a un problema de compactación que presentó la máquina. El tope mecánico no tenía la altura necesaria para garantizar el tamaño del bloque de 4.75cm, esto generó que los bloques se comprimiran más de lo especificado en el diseño y se obtuvieran alturas de 3.95cm. Se introdujo más mezcla de la que cabe dentro del molde por tener un volumen menor al esperado, el estampador la comprime y al ser desmoldados los bloques, esa energía acumulada se libera con la deformación de la base.

Esta deformación se eliminó cuando se corrigió el problema de altura en el tope mecánico.

Por último, debido a lo complicado que es medir el área transversal de los bloques deformados, se utilizó el área que los bloques tienen en condiciones normales, esto sobreestima la capacidad a compresión de los bloques. Porque en realidad se tiene un área transversal mayor de la que se introdujo en el cálculo de la resistencia.

A continuación, se presentan algunos ejemplos de bloques con deformación en la base.



Figura 63. Deformación en la base diseño A1



Figura 64. Deformación en la base tanda 2 diseño A3



a)



b)



c)

Figura 65. Deformación en la base B0 a) Deformación interna en la base, b) Sin deformación en la base, c) Deformación externa en la base



Figura 66. Deformación en la base de tanda 1 diseño B0

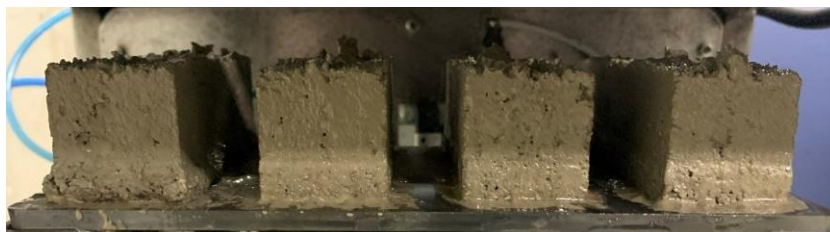


Figura 67. Deformación en la base de tanda 1 diseño B1



Figura 68. Deformación en la base tanda 2 diseño B2

6.7.3 Agujeros y planos de falla en los bloques

Como se ha mencionado, la densidad de los bloques es fundamental en su resistencia. Al tener agujeros o pequeños vacíos en las paredes del bloque, la resistencia se ve comprometida y es menor a la que se tendría si el bloque estuviera lleno.

Adicional a esto, cuando se alinearon pequeños vacíos se generó un plano de falla que se vio reflejado al momento de fallar los bloques y perjudicó la capacidad a compresión de los bloques que presentaron ese problema. Esto mismo ocurrió con los bloques que tuvieron agujeros. A continuación, se presentan algunos ejemplos.



Figura 69. Agujeros bloques de tanda 1 diseño A2



Figura 70. Agujero bloque de tanda 3 diseño A2



Figura 71. Vacíos bloques de tanda 1 diseño B2



a)



b)

Figura 72. Planos de falla y agujeros en la tanda 1 diseño C0



Figura 73. Agujeros bloques de la tanda 1 diseño C1



Figura 74. Huecos en bloques de tanda 1 diseño C2



Figura 75. Hueco en bloque de tanda 3 diseño C2

7 Análisis de los patrones de falla

Para tener una documentación adecuada de los bloques y su comportamiento, se realizó este análisis de los distintos tipos de falla. Como se mencionó en todo el análisis, el núcleo de los bloques genera una zona complicada de llenar en el centro de las paredes cortas y esto se ve reflejado en uno de los tipos de falla presentes en la investigación.

El principal patrón de falla observado es de separación de paredes, consiste de grietas verticales en la zona de unión entre las paredes cortas y las largas, o también se les puede decir paredes internas y externas. En algunos casos es la pared interna. Esta se considera que es la falla ideal, porque se presentó en los bloques más densos, con el mejor acabado en sus paredes, además con muy buenas capacidades. Algunos ejemplos de este patrón se pueden observar en la Figura 76.



Figura 76. Ejemplos de falla de separación de paredes

El segundo patrón de falla es la grieta a través de vacíos en las paredes de los bloques, esta se debe a que dichos vacíos disminuyen la capacidad del bloque haciendo que la grieta deba recorrer una menor distancia y llegando a la falla más rápido. No es la falla ideal porque se busca que los bloques no tengan este tipo de vacíos en sus paredes.

En la Figura 77, se presenta una comparación del antes y después de la falla de bloques con vacíos en su pared corta, a la izquierda la foto antes y a la derecha la foto del después. Se puede ver claramente como las grietas atraviesan los vacíos.



Figura 77. Evidencia de grietas a través de los vacíos de los bloques

El tercer patrón de falla es una grieta vertical en la parte central de las paredes cortas del bloque. Este se debe al núcleo que se utiliza en los moldes para dar forma al bloque, esa zona es más complicada de llenar y en ocasiones más frágil, por lo que se genera la grieta.

Algunos ejemplos de este tipo de falla se pueden ver en la Figura 78.

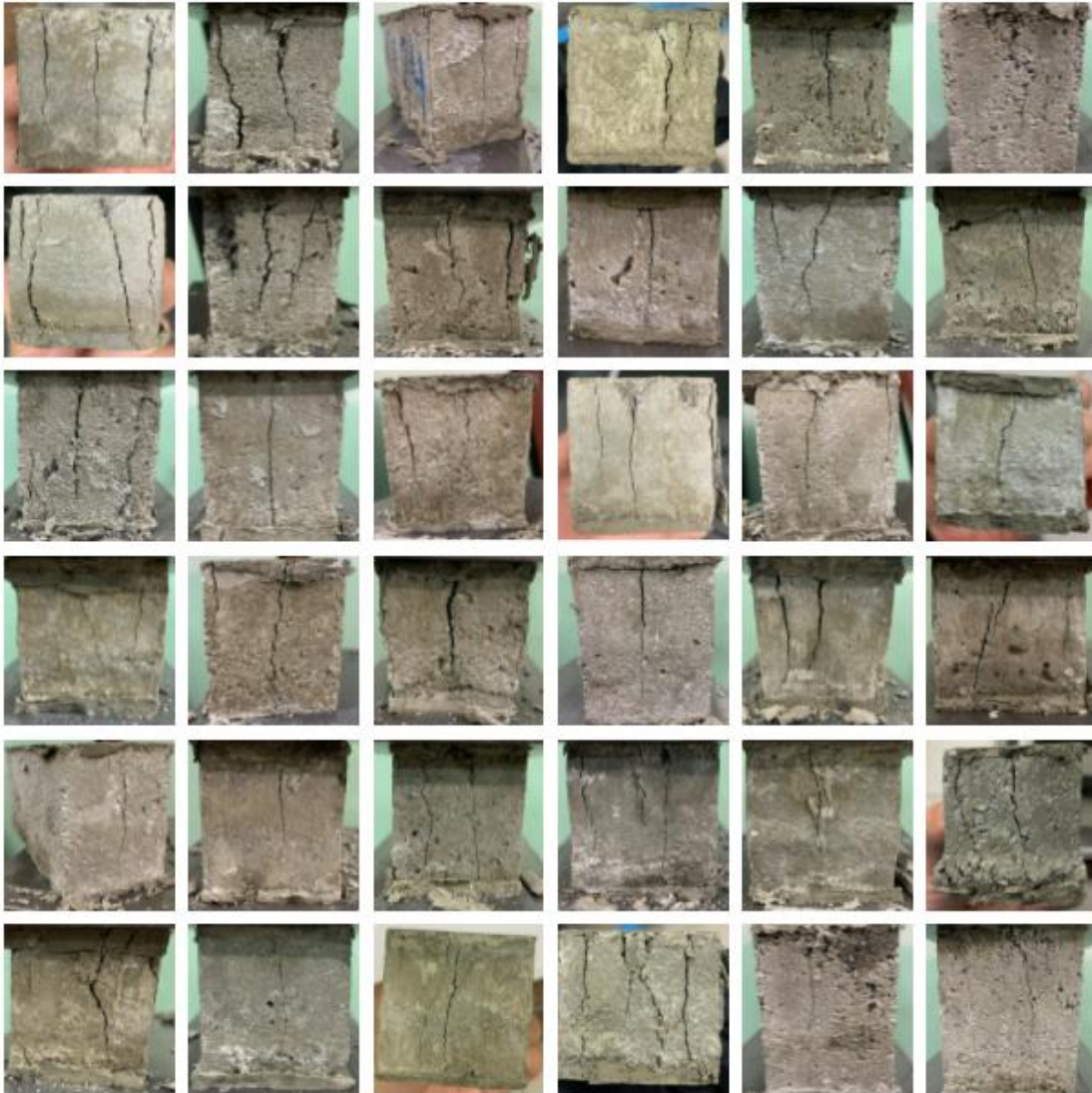


Figura 78. Falla en la zona debajo del soporte del núcleo

8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Conclusiones

Se descubrió que existe más de una variable que afecta a la consistencia de la mezcla, es decir, que tan seca o fluida es la misma. Inicialmente se pensaba que la relación agua/cemento tenía más incidencia en ese parámetro, pero, se descubrió que el porcentaje de agregado del total de la mezcla también afecta. Esto quiere decir que entre más %Ag tenga la mezcla se necesita una mayor relación de A/C para que la mezcla sea trabajable.

El factor más importante en cuanto a la resistencia es la forma del bloque, que no se tenga deformación en la base, ya sea interna o externa, que las paredes se hayan llenado lo mejor posible, sin vacíos o huecos, que los pequeños vacíos normales de la mezcla no se encuentren alineados ya que eso genera planos de falla. Que las paredes estén bien aplomadas. Esto se puede observar en el caso de los diseños C1, C2 y C3, donde se obtuvo mayor resistencia con una mayor relación A/C debido a lo densos que se producen los bloques y lo aplomadas que se desmoldan las paredes.

El vibrado que realiza la máquina no es uniforme en todo el molde, esto genera diferencias considerables en el acabado y la resistencia de los bloques, se tiene un mejor llenado de los bloques de los extremos que de los bloques del centro, por estar más cerca de los vibradores. Esto afecta la resistencia de los bloques y su apariencia. Los de los extremos del molde se llenan mejor, además, cuando se utiliza el método 2 de fabricación la diferencia en el llenado es muy marcada.

Se propone un procedimiento de mezclado que brinda una buena consistencia, trabajabilidad y homogeneidad a las mezclas utilizadas en esta investigación. Además, se definen dos métodos distintos de fabricación de bloques, los cuales requieren de diferentes intervenciones del investigador para definir qué tan automatizado se quiera fabricar los bloques.

El método 1 de fabricación de bloques permite una mayor variedad de diseños de mezcla, esto porque se puede utilizar mezclas más secas y con una mayor resistencia. El problema de este procedimiento es que no elimina por completo el factor humano de la fabricación de los bloques, ya que es necesario introducir bien la mezcla en las paredes cortas del bloque.

También, este método tiene una duración de fabricación entre los 10 y 18 minutos, esto debe tomarse en cuenta ya que es bastante tiempo.

El método 2 de fabricación es muy rápido de realizar, en menos de 10 minutos ya se tiene 4 bloques listos para llevar a la cámara húmeda. La dificultad que tiene es que no cualquier consistencia funciona, si la mezcla es muy seca no se introduce en el molde, no llena bien los bloques y estos salen con muchos agujeros, con las paredes cortas separadas por la mitad o completamente desarmados. Por otro lado, si la mezcla es muy fluida, el molde se llena muy rápido, pero los bloques no tienen la capacidad de mantener su forma al ser desmoldados y se desploman.

El diseño de mezcla que mejores resultados obtiene es el C3, con un 55% de agregado y una relación A/C de 0.55. Obteniendo una resistencia a los 7 días superior a lo especificado en el Código Sísmico, siendo los bloques más consistentes con la desviación estándar más pequeña de toda la investigación y una forma ideal, con las paredes bien llenas, esbeltas, paralelas entre sí y con sus aristas bien marcadas.

En el caso del método 2, los diseños con mejores resultados son el B2* con un 50% de agregado y una relación A/C de 0.50, C3* con un 55% de agregado y una relación A/C de 0.55. Teniendo resistencias por encima del mínimo del Código, buena consistencia, forma adecuada.

Se comprobó que algunos de los diseños de mezcla de Castro (2005) pueden utilizarse en la máquina y obtener bloques que mantienen su estabilidad al desmoldarse, sin embargo, su resistencia no es la misma que la determinada por Castro, por lo que, si se usa como base esa investigación para fabricar bloques en la máquina, no se puede asumir que se va a obtener la misma resistencia, se debe comprobar su resistencia. Las mezclas que se probó y funcionaron en la máquina son las siguientes: B2 y C2.

Se comprobó que la granulometría apropiada para trabajar con la máquina es la de un agregado de río pasando la malla No. 8 y lavado en la malla No. 200. De esta forma no es necesario separar todo el agregado por mallas y generar una curva artificial. Si no, utilizar un agregado que cumpla con la norma ASTM C33.

La presión y la estabilidad del aire comprimido que se le introduce a la máquina es importante y afecta al proceso de fabricación de los bloques.

Se pudo corregir el problema de diseño de la máquina en su tope mecánico que generaba que los bloques fabricados tuvieran una altura menor a la debida para su escala. Esto mejoró inmediatamente la apariencia de los bloques y su reproducibilidad.

Existe una relación directa entre la densidad de los bloques y su capacidad en compresión.

El método 1 es mucho más eficiente que el método 2, esto es esperable ya que al introducir manualmente la mezcla, el método 1 es compatible con diferentes niveles de trabajabilidad.

8.2 Recomendaciones

Investigar e implementar un distinto método de vibrado para el molde que permita una distribución uniforme en los cuatro bloques, de esta forma se elimina esa variabilidad existente en la máquina que genera bloques con distintas resistencias en una misma tanda, con las mismas condiciones en su diseño de mezcla. Podría ser colocar un tercer vibrador entre los bloques 2 y 3 de la máquina, a ambos lados del molde. Otra opción es colocar un vibrador alineado a cada uno de los bloques, esto implicaría 2 vibradores más por lado.

Buscar una manera en la que el soporte de los núcleos no perjudique el llenado de los bloques, de esta forma se disminuye los bloques con defectos en el centro de las paredes cortas.

Si se quiere tener una idea de la capacidad en compresión antes de fallar los bloques, se puede medir su masa y compararla con las obtenidas en esta investigación, los bloques con características similares a los utilizados en este trabajo, deben tener resistencias similares a estos.

Continuar con la calibración de la máquina probando distintas relaciones de A/C y de %Ag utilizados en esta investigación, específicamente los que tienen una relación A/C de 0.50 ya que se tienen pocos puntos y si se amplían, se puede completar la curva de diseño y conocer puntos como el de mayor resistencia posible para cada relación A/C. Lo mismo con los bloques que tienen un 60% de agregado, se recomienda probar con mayores relaciones A/C.

Repetir los diseños de mezcla A1, A2, B0, B1, B2, C0 y A2*, que tuvieron problemas de deformación en la base para descubrir si su resistencia a compresión se vio muy comprometida por el exceso de compactación de la máquina que estaba produciendo bloques de menor altura.

Producir bloques con los diseños presentes en esta investigación y calcular su resistencia a los 28 días, de esta manera se compara adecuadamente con la establecida en el Código.

Se recomienda medir el área neta de los bloques para obtener una capacidad en compresión más precisa de los bloques, tomando en cuenta que implica un aumento en la cantidad de bloques a fabricar.

Medir la planicidad de los bloques, si las paredes son paralelas entre sí y que tan aplomadas se encuentran. Todo esto con el objetivo de tener los bloques más prismáticos y repicables posibles.

En el caso de los diseños con un 45% de agregado y el método de fabricación 2, se recomienda probar diseños de mezcla cuya relación esté entre 0.40 y 0.45, de esta forma se espera que haya buena trabajabilidad y además que los bloques mantengan la forma al desmoldarse.

Fabricar bloques con el diseño C3 utilizando el cemento Fuerte y el Ultra, de esta forma se pueden comparar en igualdad de condiciones y poder medir si existe o no una diferencia considerable en la capacidad de los bloques con la utilización de un cemento o el otro.

Elaborar un procedimiento mediante el cual se pueda medir la trabajabilidad de la mezcla utilizada para los bloques. Un posible ensayo para realizar esto es utilizar el mencionado en la norma ASTM C1437 para determinar el flujo.

Se descubrió que hay bloques que en apariencia deberían de tener muy baja capacidad en compresión y al momento de aplicarles la carga resisten más que otros bloques en apariencia mejores. Es por esto que se recomienda no descartar los bloques deformados, dentro de lo razonable, para así obtener más información.

Se recomienda que, si se quisiera utilizar el diseño A3 o A3*, se hagan más pruebas para comprobar cuál de las tandas estuvo más cerca de su resistencia reproducible. Esto se debe a que se obtuvo buenas resistencias en ambas tandas, pero con capacidades muy diferentes, además no estaban en condiciones óptimas la totalidad de los bloques de las tandas. Al ser una mezcla ineficiente, no es la recomendable para continuar la investigación.

Se recomienda únicamente utilizar la máquina con el aire comprimido del edificio A del Lanamme, el cual por su gran tamaño permite que el flujo sea muy estable y con la presión adecuada. No utilizar la máquina con tanques de aire comprimido portátiles.

Definir si es posible antes de iniciar las pruebas de laboratorio, si no se puede con anterioridad entonces lo más rápido posible, un plan de ensayos con todos los diseños de mezcla que se quiere probar, así como los métodos de fabricación a utilizar.

Adicionalmente definir un cronograma con todo lo establecido en el plan de ensayos es de gran ayuda para avanzar en la investigación de la mejor manera. Con este se organiza mejor el trabajo de laboratorio y se lleva un ritmo de trabajo apropiado para terminar a tiempo la investigación.

9 FUENTES DE CONSULTA

- Abarca, A. (2013). Esquema y cuadro de la máquina de bloques de mampostería a escala reducida. Programa de Investigación y Desarrollo del LanammeUCR.
- Angulo, J. González, D. (2016). Diseño de una máquina que elabore bloques de concreto a escala reducida para el laboratorio de modelos estructurales del LanammeUCR. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Mecánica, Escuela de Ingeniería Mecánica, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- ASTM (2017). ASTM Standard C29/C29M-17a, Standard test method for bulk density ("unit weight") and voids in aggregate. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM (2016). ASTM Standard C33/C33M-16, Standard specification for concrete aggregates. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM (2020). ASTM Standard C40/C40M-20, Standard test method for organic impurities in fine aggregates for concrete. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM (2020). ASTM Standard C109/C109M-20b, Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortars (using 2-in. or [50-mm] cube specimens). ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM (2017). ASTM Standard C117-17, Standard test method for materials finer than 75- μ m (No 200) sieve in mineral aggregates by washing. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM (2015). ASTM Standard C128-15, Standard test method for relative density (specific gravity) and absorption of fine aggregate. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM (2019). ASTM Standard C136/C136M-19, Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM (2017). ASTM Standard C140/C140M-17a, Standard test method for sampling and testing concrete masonry units and related units. ASTM International, West Conshohocken, PA.

- ASTM (2016). ASTM Standard C187-16, Standard test method for amount of water required for normal consistency of hydraulic cement paste. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM (2017). ASTM Standard C188-17, Standard test method for density of hydraulic cement. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM (2019). ASTM Standard C191-19, Standard test method for time of setting of hydraulic cement by Needle. ASTM International, West Conshohocken Vicat, PA.
- ASTM (2014). ASTM Standard C305-14, Standard practice for Mechanical mixing of hydraulic cement pastes and mortars of plastic consistency. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Bartels, A. (2017). Normalización de los parámetros operativos para la máquina de bloques de concreto a escala reducida 1/6. Práctica dirigida para optar por el grado de Bachillerato en Ingeniería de Materiales, Escuela de Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.
- Castro, R. (2005). Optimización del proceso de diseño de mezcla y fabricación de bloques de mampostería en escala reducida. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos. (2014). Código Sísmico de Costa Rica 2010 – Revisión 2014. Quinta edición. Editorial Tecnológico de Costa Rica: San José, Costa Rica.
- Espinoza, E. (1991). Mezclas de microconcreto para modelos estructurales. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Herrera, A. Madrid, V. (s.f). Manual de construcción de mampostería de concreto. Instituto Colombiano de Productores de Cemento
- International Code Council, Inc. (ICC). (2000). *2000 International Building Code*. Estados Unidos: International Code Council, Inc.

- Navas, A. (2007). Propiedades a compresión de la mampostería de bloques de concreto. *Ingeniería*, 17(2), 53-70.
- Morales, J. (2018). Evaluación de la capacidad de un muro de mampostería confinada a escala reducida con aberturas. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Padilla, J. (2017). Evaluación de parámetros en la fabricación de bloques de mampostería a escala. Práctica dirigida para optar por el grado de Bachillerato en Ingeniería de Materiales, Escuela de Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.
- Salas, P. (2015). Calibración del proceso de diseño y fabricación de bloques de mampostería en escala reducida utilizando equipo automatizado. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- S,A. (2019). Ficha técnica de bloques de mampostería. Productos de Concreto. Extraído el 23 setiembre, 2019. <https://productosdeconcretocr.com/product-category/productos-prefabricados/bloques-de-mamposteria/>

10 APÉNDICES

A. Caracterización de materiales

1. Determinación de la densidad relativa (gravedad específica), y la absorción del agregado fino

Muestra 1:

$$(\text{Gravedad específica})(BS) = \frac{A}{(B + S - C)} = \frac{479.3}{651.3 + 500.0 - 958.5} = 2.486$$

$$(\text{Gravedad específica})(SSS) = \frac{S}{(B + S - C)} = \frac{500.0}{651.3 + 500.0 - 958.5} = 2.593$$

$$(\text{Gravedad específica aparente}) = \frac{A}{(B + A - C)} = \frac{479.3}{651.3 + 479.3 - 958.5} = 2.785$$

$$\text{Absorción, \%} = 100 \times \left[\frac{(S - A)}{A} \right] = 100 \times \left(\frac{500.0 - 479.3}{479.3} \right) = 4.319\%$$

B. Bitácora de resultados por mezcla de los bloques

En este apéndice se presentan en detalle los resultados experimentales obtenidos en cada mezcla y su registro fotográfico.

1. Diseño A0: 45% de agregado y relación A/C de 0.35

Cuadro 24. Correlación de masa y resistencia a compresión diseño A0

Tanda	Cantidad de bloques	Masa total (g)	Masa por bloque (g)	Carga promedio (Kg)	Resistencia a compresión promedio (Kg/cm ²)
1	4	843.5	210.9	4316.69	215.75
2	4	845.6	211.4	4954.59	247.64
3	4	851.1	212.8	6686.67	334.21
Promedio		846.7	211.7	5319.31	265.87

Cuadro 25. Resistencia a compresión de la tanda 1 diseño A0

Diseño	Bloque	Carga (Kg)	Resistencia a compresión (Kg/cm ²)
A0 A/C: 0.35 Ag: 45	1	4043.27	202.09
	2	5409.63	270.38
	3	4332.36	216.54
	4	3481.50	174.01
	Promedio	4316.69	215.75

Cuadro 26. Resistencia a compresión de la tanda 2 diseño A0

Diseño	Bloque	Carga (Kg)	Resistencia a compresión (Kg/cm ²)
A0 A/C: 0.35 Ag: 45	1	4905.04	245.16
	2	5574.26	278.61
	3	5199.34	259.87
	4	4139.70	206.91
	Promedio	4954.59	247.64

Cuadro 27. Resistencia a compresión de la tanda 3 diseño A0

Diseño	Bloque	Carga (Kg)	Resistencia a compresión (Kg/cm²)
A0 A/C: 0.35 Ag: 45	1	6252.04	312.48
	2	6553.26	327.54
	3	7747.14	387.21
	4	6194.24	309.60
	Promedio	6686.67	334.21



a)



b)

Figura 79. Comparación de la apariencia entre tandas 1 (a) y 3 (b) del diseño A0

Observaciones:

- Resistencia promedio de cada tanda aumentó debido a la experiencia con la fabricación del diseño.
- Resistencia muy diferente entre tandas de más de 100 Kg/cm².

- Resistencia promedio muy alta de 265.87 Kg/cm².
- Masa de los bloques acorde a su resistencia.

2. Diseño A1: 45% de agregado y relación A/C de 0.38

Cuadro 28. Correlación de masa y resistencia a compresión diseño A1

Tanda	Cantidad de bloques	Masa total (g)	Masa por bloque (g)	Carga promedio (Kg)	Resistencia a compresión promedio (Kg/cm ²)
1	4	813.1	203.3	5355.35	267.67
2	4	830.0	207.5	4733.03	236.56
3	4	856.5	214.1	6315.03	315.63
Promedio		833.2	208.3	5467.80	273.29

Cuadro 29. Resistencia a compresión de la tanda 1 diseño A1

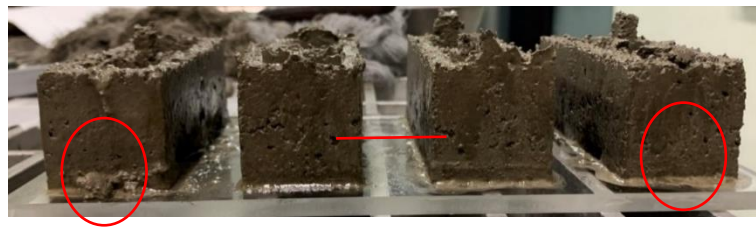
Diseño	Bloque	Carga (Kg)	Resistencia a compresión (Kg/cm ²)
A1 A/C: 0.38 Ag: 45	1	5577.22	278.76
	2	4579.46	228.89
	3	6573.34	328.54
	4	4691.38	234.48
	Promedio	5355.35	267.67

Cuadro 30. Resistencia a compresión de la tanda 2 diseño A1

Diseño	Bloque	Carga (Kg)	Resistencia a compresión (Kg/cm ²)
A1 A/C: 0.38 Ag: 45	1	4461.21	222.98
	2	5204.74	260.14
	3	3995.87	199.72
	4	5270.28	263.42
	Promedio	4733.03	236.56

Cuadro 31. Resistencia a compresión de la tanda 3 diseño A1

Diseño	Bloque	Carga (Kg)	Resistencia a compresión (Kg/cm ²)
A1 A/C: 0.38 Ag: 45	1	7227.78	361.25
	2	6787.10	339.23
	3	5524.41	276.12
	4	5720.84	285.93
	Promedio	6315.03	315.63

**Figura 80. Bloques con deformación en la base, diseño A1**

Observaciones:

- Más consistente que diseño A0.
- Deformación en la base.
- Vacíos en línea horizontal de segunda tanda disminuyen su capacidad.
- Resistencia promedio de 273.29 Kg/cm².
- Bloques con mayor masa son los más resistentes.

3. Diseño A2: 45% de agregado y relación A/C de 0.40

Cuadro 32. Correlación de masa y resistencia a compresión diseño A2

Tanda	Cantidad de bloques	Masa total (g)	Masa por bloque (g)	Carga promedio (Kg)	Resistencia a compresión promedio (Kg/cm ²)
1	4	820.9	205.2	3942.51	197.05
2	4	774.7	193.7	3767.25	188.29
3	4	835.6	208.9	6133.69	306.57
Promedio		810.4	202.6	4614.48	230.64

Cuadro 33. Resistencia a compresión de la tanda 1 diseño A2

Diseño	Bloque	Carga (Kg)	Resistencia a compresión (Kg/cm ²)
A2 A/C: 0.40 Ag: 45	1	3567.53	178.31
	2	3687.20	184.29
	3	5330.73	266.44
	4	3184.55	159.17
	Promedio	3942.51	197.05

Cuadro 34. Resistencia a compresión de la tanda 2 diseño A2

Diseño	Bloque	Carga (Kg)	Resistencia a compresión (Kg/cm ²)
A2 A/C: 0.40 Ag: 45	1	2313.71	115.64
	2	6540.93	326.92
	3	4044.19	202.13
	4	2170.18	108.47
	Promedio	3767.25	188.29

Cuadro 35. Resistencia a compresión de la tanda 3 diseño A2

Diseño	Bloque	Carga (Kg)	Resistencia a compresión (Kg/cm²)
A2 A/C: 0.40 Ag: 45	1	5918.40	295.81
	2	6866.41	343.19
	3	5101.07	254.96
	4	6648.88	332.32
	Promedio	6133.69	306.57

**Figura 81. Bloques de tanda 1 diseño A2****Figura 82. Bloques de tanda 2 diseño A2****Figura 83. Bloques de tanda 3 diseño A2**

Observaciones:

- Resistencia similar en tandas 1 y 2.
- Agujero en bloque 4 de tanda 1 y bloque 4 de tanda 2. Bloque 1 de tanda 2 desplomado.
- Bloques de tanda 3 con excelente forma y consecuentemente alta resistencia.

B-8

- Masa de los bloques consistente con su resistencia.

4. Diseño A3: 45% de agregado y relación A/C de 0.45

Cuadro 36. Correlación de masa y resistencia a compresión diseño A3

Tanda	Cantidad de bloques	Masa total (g)	Masa por bloque (g)	Carga promedio (Kg)	Resistencia a compresión promedio (Kg/cm ²)
1	2	404.2	202.1	6303.77	315.07
2	3	600.0	200.0	3986.46	199.25
Promedio		502.1	201.1	5145.11	257.16

Cuadro 37. Resistencia a compresión de la tanda 1 diseño A3

Diseño	Bloque	Carga (Kg)	Resistencia a compresión (Kg/cm ²)
A3 A/C: 0.45 Ag: 45	1	6934.40	346.59
	2	-	-
	3	5673.14	283.55
	4	-	-
	Promedio	6303.77	315.07

Cuadro 38. Resistencia a compresión de la tanda 2 diseño A3

Diseño	Bloque	Carga (Kg)	Resistencia a compresión (Kg/cm ²)
A3 A/C: 0.45 Ag: 45	1	4514.73	225.65
	2	3356.93	167.78
	3	-	-
	4	4087.71	204.31
	Promedio	3986.46	199.25



Figura 84. Desplome de bloque diseño A3

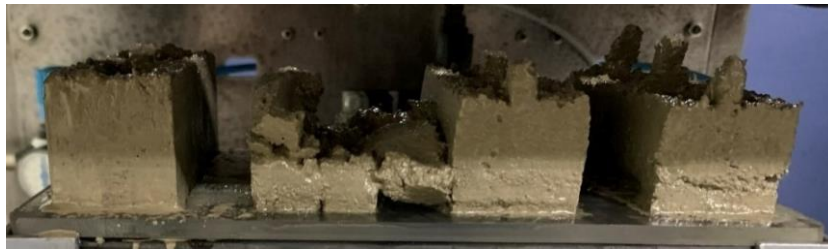


Figura 85. Bloques de tanda 1 diseño A3



Figura 86. Bloques de tanda 2 diseño A3

Observaciones:

- Se disminuyó la cantidad de tandas para poder probar más diseños sin disminuir el tamaño de muestra.
- Mezcla muy fluida para la máquina. No es adecuada para trabajar.
- Bloques inestables y se desploman.
- Resistencia promedio de 257 Kg/cm².
- Masas no concuerdan con la resistencia, se puede explicar por la mejor forma de los bloques de la primera tanda.

5. Diseño B0: 50% de agregado y relación A/C de 0.40

Cuadro 39. Resistencia a compresión diseño B0

Tanda	Cantidad de bloques	Carga promedio (Kg)	Resistencia a compresión promedio (Kg/cm ²)
1	4	5531.39	276.47
2	4	3426.14	171.24
Promedio		4478.77	223.85

Cuadro 40. Resistencia a compresión de la tanda 1 diseño B0

Diseño	Bloque	Carga (Kg)	Resistencia a compresión (Kg/cm ²)
B0 A/C: 0.40 Ag: 50	1	6488.94	324.33
	2	6332.67	316.51
	3	5387.92	269.29
	4	3916.05	195.73
	Promedio	5531.39	276.47

Cuadro 41. Resistencia a compresión de la tanda 2 diseño B0

Diseño	Bloque	Carga (Kg)	Resistencia a compresión (Kg/cm ²)
B0 A/C: 0.40 Ag: 50	1	5136.03	256.71
	2	2786.19	139.26
	3	3084.66	154.18
	4	2697.70	134.83
	Promedio	3426.14	171.24



a)

b)



c)

Figura 87. a) Bloques con deformación interna en la base, b) Bloques sin deformación en la base, c) Bloques con deformación externa en la base



Figura 88. Bloques de tanda 1 diseño B0



Figura 89. Bloques de tanda 2 diseño B0

Observaciones:

- Mezcla muy seca, llenado difícil, la vibración no consolida.

- Entre más seca la mezcla, menos se comprime.
- Bloques se deforman en su base.
- Deformación en la base sobreestima la resistencia del bloque.
- Disminuir la cantidad de mezcla acorde al volumen reduce la deformación en la base.

6. Diseño B1: 50% de agregado y relación A/C de 0.45

Cuadro 42. Correlación de masa y resistencia a compresión diseño B1

Tanda	Cantidad de bloques	Carga promedio (Kg)	Resistencia a compresión promedio (Kg/cm ²)
1	4	3464.47	173.16
2	4	5363.71	268.08
Promedio		4414.09	220.62

Cuadro 43. Resistencia a compresión de la tanda 1 diseño B1

Diseño	Bloque	Carga (Kg)	Resistencia a compresión (Kg/cm ²)
B1 A/C: 0.45 Ag: 50	1	2916.97	145.79
	2	2338.17	116.86
	3	4416.97	220.77
	4	4185.78	209.21
	Promedio	3464.47	173.16

Cuadro 44. Resistencia a compresión de la tanda 2 diseño B1

Diseño	Bloque	Carga (Kg)	Resistencia a compresión (Kg/cm ²)
B1 A/C: 0.45 Ag: 50	1	5423.39	271.07
	2	6644.80	332.12
	3	4252.44	212.54
	4	5134.20	256.61
	Promedio	5363.71	268.08



Figura 90. Bloques de tanda 1 diseño B1



Figura 91. Bloques de tanda 2 diseño B1

Observaciones:

- Funciona muy bien con el método 1 y la máquina.
- Pasta ligeramente líquida y trabajable.
- Debido al problema de altura se da deformación en la base.
- Tanda 1 menos aplomada y con vacíos.

7. Diseño B2: 50% de agregado y relación A/C de 0.50

Cuadro 45. Correlación de masa y resistencia a compresión diseño B2

Tanda	Cantidad de bloques	Masa total (g)	Masa por bloque (g)	Carga promedio (Kg)	Resistencia a compresión promedio (Kg/cm ²)
1	4	840.2	210.1	3859.55	192.91
2	4	845.3	211.3	3632.41	181.55
Promedio		842.8	210.7	3745.98	187.23

Cuadro 46. Resistencia a compresión de la tanda 1 diseño B2

Diseño	Bloque	Carga (Kg)	Resistencia a compresión (Kg/cm ²)
B2 A/C: 0.50 Ag: 50	1	2810.14	140.45
	2	3291.38	164.51
	3	5134.10	256.61
	4	4202.60	210.05
	Promedio	3859.55	192.91

Cuadro 47. Resistencia a compresión de la tanda 2 diseño B2

Diseño	Bloque	Carga (Kg)	Resistencia a compresión (Kg/cm ²)
B2 A/C: 0.50 Ag: 50	1	4223.19	211.08
	2	3472.42	173.56
	3	4320.95	215.97
	4	2513.10	125.61
	Promedio	3632.41	181.55



Figura 92. Bloques de tanda 1 diseño B2



Figura 93. Bloques de tanda 2 diseño B2

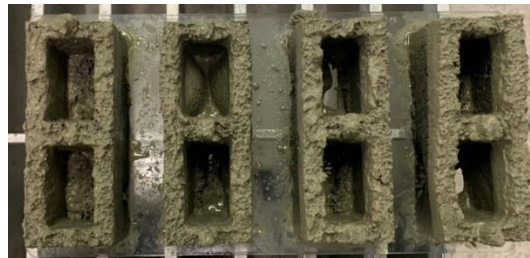


Figura 94. Deformación de la base tanda 1 diseño B2



Figura 95. Deformación de la base tanda 2 diseño B2

Observaciones:

- Resistencia muy similar en ambas tandas, mezcla reproducible.
- Buena trabajabilidad de la mezcla.
- Deformación en la base por problema de altura.

8. Diseño B3: 50% de agregado y relación A/C de 0.55

Cuadro 48. Resistencia a compresión diseño B3

Tanda	Cantidad de bloques	Carga promedio (Kg)	Resistencia a compresión promedio (Kg/cm ²)
1	0	-	-
2	2	2387.00	119.31
Promedio		2387.00	119.31

Cuadro 49. Resistencia a compresión de la tanda 2 diseño B3

Diseño	Bloque	Carga (Kg)	Resistencia a compresión (Kg/cm ²)
B3 A/C: 0.55 Ag: 50	1	2343.47	117.13
	2	-	-
	3	-	-
	4	2430.53	121.48
	Promedio	2387.00	119.31



Figura 96. Bloques aplastados por error con el panel de control



Figura 97. Bloques dañados por disminución en la presión



Figura 98. Bloques de tanda 1 diseño B3

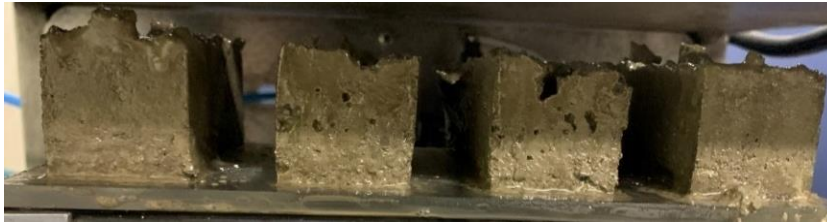


Figura 99. Bloques de tanda 2 diseño B3

Observaciones:

- Mezcla muy fluida para la máquina.
- Deformación en la base, paredes desplomadas y con huecos.
- Bloques se aplastaron por mal manejo de botonera en la máquina.
- Problema de presión en compresor daña los bloques.

9. Diseño C0: 55% de agregado y relación A/C de 0.40

Cuadro 50 Correlación de masa y resistencia a compresión diseño C0

Tanda	Cantidad de bloques	Masa total (g)	Masa por bloque (g)	Carga promedio (Kg)	Resistencia a compresión promedio (Kg/cm ²)
1	4	788.0	197.0	3063.89	153.14
2	4	819.1	204.8	3742.35	187.05
Promedio		803.6	200.9	3403.12	170.09

Cuadro 51. Resistencia a compresión de la tanda 1 diseño C0

Diseño	Bloque	Carga (Kg)	Resistencia a compresión (Kg/cm ²)
C0 A/C: 0.40 Ag: 55	1	3564.57	178.16
	2	2600.56	129.98
	3	3022.27	151.06
	4	3068.14	153.35
	Promedio	3063.89	153.14

Cuadro 52. Resistencia a compresión de la tanda 2 diseño C0

Diseño	Bloque	Carga (Kg)	Resistencia a compresión (Kg/cm ²)
C0 A/C: 0.40 Ag: 55	1	2732.16	136.56
	2	4422.98	221.07
	3	3615.54	180.71
	4	4198.72	209.86
	Promedio	3742.35	187.05



Figura 100. Bloques de tanda 1 diseño C0



Figura 101. Bloques de tanda 2 diseño C0



a)



b)

Figura 102. Defectos en la tanda 1 diseño C0

Observaciones:

- Diferencia en la consistencia, mezcla se ve menos como una pasta y tiene más vacíos.
- Forma de paralelepípedo muy bien marcada, esquinas y aristas del bloque bien definidas.
- Pequeña deformación.
- Capacidad en compresión de ambas tandas es similar.
- Separación de capas genera planos de falla.

10. Diseño C1: 55% de agregado y relación A/C de 0.45

Cuadro 53. Correlación de masa y resistencia a compresión diseño C1

Tanda	Cantidad de bloques	Masa total (g)	Masa por bloque (g)	Carga promedio (Kg)	Resistencia a compresión promedio (Kg/cm ²)
1	4	862.9	215.7	2976.14	148.75
2	4	922.1	230.5	3418.65	170.87
Promedio		892.5	223.1	3197.40	159.81

Cuadro 54. Resistencia a compresión de la tanda 1 diseño C1

Diseño	Bloque	Carga (Kg)	Resistencia a compresión (Kg/cm ²)
C1 A/C: 0.45 Ag: 55	1	3241.84	162.03
	2	2667.84	133.34
	3	2646.33	132.27
	4	3348.57	167.37
	Promedio	2976.14	148.75

Cuadro 55. Resistencia a compresión de la tanda 2 diseño C1

Diseño	Bloque	Carga (Kg)	Resistencia a compresión (Kg/cm ²)
C1 A/C: 0.45 Ag: 55	1	2258.76	112.90
	2	3968.75	198.36
	3	3362.54	168.06
	4	4084.55	204.15
	Promedio	3418.65	170.87



Figura 103. Bloques de la tanda 1 diseño C1



Figura 104. Bloques de la tanda 2 diseño C1

Observaciones:

- Primer diseño con el problema de altura de la máquina corregido.
- Se disminuye la compactación adicional que se evidenciaba con un exceso de material en el centro de las paredes cortas y con la deformación en la base.
- Resistencia de ambas tandas es similar.
- Faltó material en la tanda 1.
- Tanda 2 tiene bloques más llenos, con mayor masa y más resistentes.

11. Diseño C2: 55% de agregado y relación A/C de 0.50**Cuadro 56. Correlación de masa y resistencia a compresión diseño C2**

Tanda	Cantidad de bloques	Masa total (g)	Masa por bloque (g)	Carga promedio (Kg)	Resistencia a compresión promedio (Kg/cm ²)
1	4	908.6	227.2	3041.03	151.99
2	4	939.0	234.8	3082.34	154.06
3	4	921	230.3	3698.29	184.85
Promedio		922.9	230.8	3061.68	163.63

Cuadro 57. Resistencia a compresión de la tanda 1 diseño C2

Diseño	Bloque	Carga (Kg)	Resistencia a compresión (Kg/cm ²)
C2 A/C: 0.50 Ag: 55	1	4497.70	224.80
	2	2382.31	119.07
	3	1710.75	85.51
	4	3573.34	178.60
	Promedio	3041.03	151.99

Cuadro 58. Resistencia a compresión de la tanda 2 diseño C2

Diseño	Bloque	Carga (Kg)	Resistencia a compresión (Kg/cm ²)
C2 A/C: 0.50 Ag: 55	1	3499.74	174.92
	2	2472.22	123.56
	3	2882.62	144.08
	4	3474.77	173.67
	Promedio	3082.34	154.06

Cuadro 59. Resistencia a compresión de la tanda 3 diseño C2

Diseño	Bloque	Carga (Kg)	Resistencia a compresión (Kg/cm ²)
C2 A/C: 0.50 Ag: 55	1	4826.45	241.23
	2	4329.51	216.39
	3	1733.89	86.66
	4	3903.31	195.09
	Promedio	3698.29	184.85

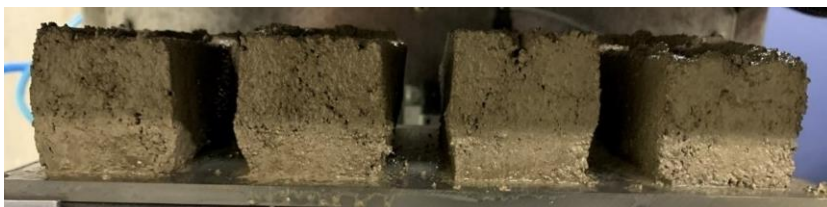
**Figura 105. Bloques de la tanda 1 diseño C2****Figura 106. Bloques de la tanda 2 diseño C2****Figura 107. Bloques de la tanda 3 diseño C2**



Figura 108. Huecos en bloques de tanda 1 diseño C2



Figura 109. Hueco en bloque de tanda 3 diseño C2

Observaciones:

- Capacidad en compresión de las primeras tandas es casi igual, la tercera es similar.
- Vibración del molde afecta el llenado de los bloques 2 y 3.
- Duración de moldeo de segunda tanda se extiende, bloques se pegan y al desmoldarlos salen aplastados.
- Bloques de tercera tanda con mucho mejor forma y más llenos.
- Bloque 3 de tercera tanda tiene un hueco.

12. Diseño C3: 55% de agregado y relación A/C de 0.55

Cuadro 60. Correlación de masa y resistencia a compresión diseño C3

Tanda	Cantidad de bloques	Masa total (g)	Masa por bloque (g)	Carga promedio (Kg)	Resistencia a compresión promedio (Kg/cm ²)
1	4	933.7	233.4	3534.96	176.68
2	4	939.7	234.9	3540.62	176.96
Promedio		936.7	234.2	3537.79	176.82

Cuadro 61. Resistencia a compresión de la tanda 1 diseño C3

Diseño	Bloque	Carga (Kg)	Resistencia a compresión (Kg/cm ²)
C3 A/C: 0.55 Ag: 55	1	3911.87	195.52
	2	4108.10	205.33
	3	3067.33	153.31
	4	3052.55	152.57
	Promedio	3534.96	176.68

Cuadro 62. Resistencia a compresión de la tanda 2 diseño C3

Diseño	Bloque	Carga (Kg)	Resistencia a compresión (Kg/cm ²)
C3 A/C: 0.55 Ag: 55	1	4005.25	200.19
	2	3793.22	189.59
	3	3150.41	157.46
	4	3213.61	160.62
	Promedio	3540.62	176.96



Figura 110. Bloques de la tanda 1 diseño C3

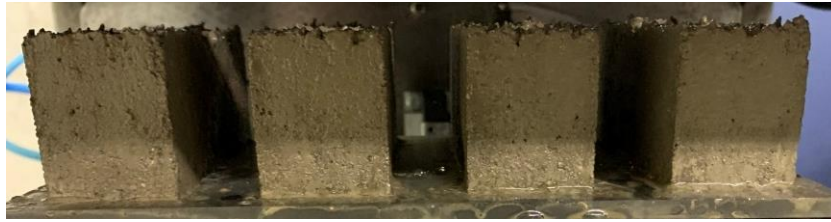


Figura 111. Bloques de la tanda 2 diseño C3



Figura 112. Huevo en zona superior de pared interna de diseño C3

Observaciones:

- Resistencia a compresión exactamente igual, es el más reproducible.
- Bloques en excelentes condiciones.
- No hay deformación en la base interna ni externa.
- Pequeño hueco en parte superior.

13. Diseño D0: 60% de agregado y relación A/C de 0.55

Cuadro 63. Correlación de masa y resistencia a compresión diseño D0

Tanda	Cantidad de bloques	Masa total (g)	Masa por bloque (g)	Carga promedio (Kg)	Resistencia a compresión promedio (Kg/cm ²)
1	4	892.8	223.2	2534.35	126.67
2	4	914.3	228.6	2781.09	139.00
Promedio		903.6	225.9	2657.72	132.84

Cuadro 64. Resistencia a compresión de la tanda 1 diseño D0

Diseño	Bloque	Carga (Kg)	Resistencia a compresión (Kg/cm ²)
D1 A/C: 0.55 Ag: 60	1	3115.44	155.71
	2	2068.24	103.37
	3	2487.41	124.32
	4	2466.31	123.27
	Promedio	2534.35	126.67

Cuadro 65. Resistencia a compresión de la tanda 2 diseño D0

Diseño	Bloque	Carga (Kg)	Resistencia a compresión (Kg/cm ²)
D1 A/C: 0.55 Ag: 60	1	2884.76	144.18
	2	2699.44	134.92
	3	3216.26	160.75
	4	2323.90	116.15
	Promedio	2781.09	139.00

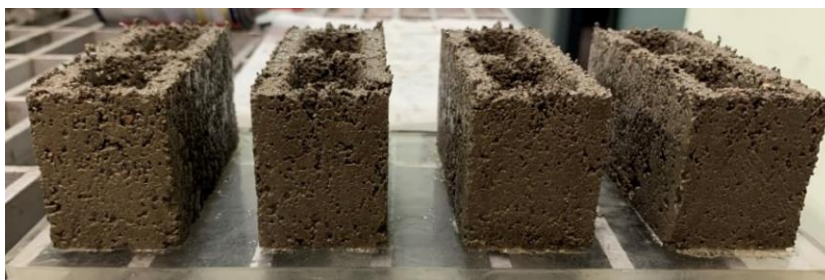


Figura 113. Bloques de la tanda 1 diseño D0



Figura 114. Bloques de la tanda 2 diseño D0

Observaciones:

- Mezcla muy seca y de consistencia grumosa, se observan vacíos en la mezcla.
- Resistencia ligeramente por debajo de lo que pide el Código Sísmico.
- Se duró más tiempo colocando la mezcla, más de 15 min, pero no hubo problemas de desmolde.

14. Diseño D1: 60% de agregado y relación A/C de 0.60

Cuadro 66. Correlación de masa y resistencia a compresión diseño D1

Tanda	Cantidad de bloques	Masa total (g)	Masa por bloque (g)	Carga promedio (Kg)	Resistencia a compresión promedio (Kg/cm ²)
1	4	903.9	226.0	2049.90	102.46
2	4	925.4	231.4	2242.56	112.09
Promedio		914.7	228.7	2146.23	107.27

Cuadro 67. Resistencia a compresión de la tanda 1 diseño D1

Diseño	Bloque	Carga (Kg)	Resistencia a compresión (Kg/cm ²)
D2 A/C: 0.60 Ag: 60	1	1741.74	87.05
	2	1738.28	86.88
	3	2363.76	118.14
	4	2355.81	117.75
	Promedio	2049.90	102.46

Cuadro 68. Resistencia a compresión de la tanda 2 diseño D1

Diseño	Bloque	Carga (Kg)	Resistencia a compresión (Kg/cm ²)
D2 A/C: 0.60 Ag: 60	1	2180.27	108.97
	2	2291.18	114.52
	3	2055.71	102.75
	4	2443.07	122.11
	Promedio	2242.56	112.09



Figura 115. Bloques de la tanda 1 diseño D1



Figura 116. Bloques de la tanda 2 diseño D1



a)



b)

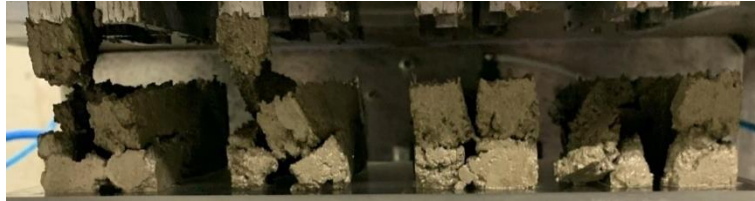
Figura 117. Defectos en el bloque 1 de la tanda 1 diseño D1



Figura 118. Plano de falla bloque 2 de tanda 1 diseño D1

Observaciones:

- Mezcla seca y difícil de colocar.
- Vacíos en el medio, debajo del soporte del núcleo.
- Vacíos alineados generan planos de falla.
- Segunda tanda es muy consistente.
- Resistencia menor a la especificada en el código, tomar en cuenta que esto es a 7 días.

15. Diseño A0*: 45% de agregado y relación A/C de 0.35**Figura 119. Bloques con huecos en su pared posterior tanda 1 diseño A0*****Figura 120. Bloques de tanda 2 diseño A0*****Figura 121. Bloques de tanda 3 diseño A0***

Observaciones:

- Mezcla demasiado seca y no se introduce en el molde.
- La mezcla no se consolida.
- Cero bloques buenos.

16. Diseño A1*: 45% de agregado y relación A/C de 0.38



Figura 122. Bloques de la tanda 1 diseño A1*



Figura 123. Bloques de la tanda 3 diseño A1*

Observaciones:

- Mezcla muy seca y difícil de colocar.
- Bloques de tercera tanda conservan algo de forma.
- Deformación en el interior de las celdas.

17. Diseño A2*: 45% de agregado y relación A/C de 0.40

Cuadro 69. Correlación de masa y resistencia a la compresión diseño A2*

Tanda	Cantidad de bloques	Masa total (g)	Masa por bloque (g)	Carga promedio (Kg)	Resistencia a compresión promedio (Kg/cm ²)
1	1	208.8	208.8	6149.79	307.37
2	0	-	-	-	-
3	4	785.2	196.3	3929.89	196.42
Promedio		497.0	202.6	5039.84	251.90

Cuadro 70. Resistencia a compresión de la tanda 1 diseño A2*

Diseño	Bloque	Carga (Kg)	Resistencia a compresión (Kg/cm ²)
A2* A/C: 0.40 Ag: 45	1	6149.79	307.37
	2	-	-
	3	-	-
	4	-	-
	Promedio	6149.79	307.37

Cuadro 71. Resistencia a compresión de la tanda 3 diseño A2*

Diseño	Bloque	Carga (Kg)	Resistencia a compresión (Kg/cm ²)
A2* A/C: 0.40 Ag: 45	1	3406.47	170.26
	2	4960.29	247.92
	3	4673.34	233.58
	4	2679.46	133.92
	Promedio	3929.89	196.42



Figura 124. Bloques de tanda 1 diseño A2*



Figura 125. Bloques de tanda 2 diseño A2*



Figura 126. Bloques de tanda 3 diseño A2*

Observaciones:

- Falta material en primera tanda.
- Presencia de agujeros y paredes algo inestables.
- Deformación interna en las celdas.
- Bloques de segunda tanda se desploman al ser trasladados.
- Tanda 3 tiene bloques estables y bien llenos, algunos vacíos en paredes cortas.
- Bloques 2 y 3 con mayor capacidad debido a los planos de falla presentes en bloques 1 y 4.

18. Diseño A3*: 45% de agregado y relación A/C de 0.45

Cuadro 72. Correlación de masa y resistencia a la compresión diseño A3*

Tanda	Cantidad de bloques	Masa total (g)	Masa por bloque (g)	Carga promedio (Kg)	Resistencia a compresión promedio (Kg/cm ²)
1	2	607.5	202.5	5111.36	255.47
2	3	402.2	201.1	4179.49	208.90
Promedio		504.9	201.8	4645.43	232.18

Cuadro 73. Resistencia a compresión de la tanda 1 diseño A3*

Diseño	Bloque	Carga (Kg)	Resistencia a compresión (Kg/cm ²)
A3* A/C: 0.45 Ag: 45	1	4556.01	227.72
	2	3419.72	170.92
	3	4562.74	228.05
	4	-	-
	Promedio	4179.49	208.90

Cuadro 74. Resistencia a compresión de la tanda 2 diseño A3*

Diseño	Bloque	Carga (Kg)	Resistencia a compresión (Kg/cm ²)
A3* A/C: 0.45 Ag: 45	1	5547.55	277.27
	2	-	-
	3	-	-
	4	4675.18	233.67
	Promedio	5111.36	255.47



Figura 127. Bloques de tanda 1 diseño A3*



Figura 128. Bloques de tanda 2 diseño A3*

Observaciones:

- Ya se disminuyó a dos tandas por diseño.
- Mezcla fácil de colocar, llena muy rápido los bloques.
- Le falta estabilidad a la mezcla.
- Bloque 2 de tanda 1 disminuye la resistencia del diseño.
- Extraños los huecos en la segunda tanda con una mezcla tan fluida.

19. Diseño B0*: 50% de agregado y relación A/C de 0.40



Figura 129. Bloques de tanda 2 diseño B0*

Observaciones:

- Mezcla muy seca y difícil de colocar.
- No se producen bloques en buenas condiciones.

20. Diseño B1*: 50% de agregado y relación A/C de 0.45

Cuadro 75. Resistencia a compresión diseño B1*

Tanda	Cantidad de bloques	Carga promedio (Kg)	Resistencia a compresión promedio (Kg/cm ²)
1	4	4752.11	237.52
2	4	3083.48	154.12
Promedio		3917.80	195.82

Cuadro 76. Resistencia a compresión de la tanda 1 diseño B1*

Diseño	Bloque	Carga (Kg)	Resistencia a compresión (Kg/cm ²)
B1* A/C: 0.45 Ag: 50	1	4895.67	244.69
	2	5543.07	277.05
	3	4425.13	221.17
	4	4144.60	207.15
	Promedio	4752.11	237.52

Cuadro 77. Resistencia a compresión de la tanda 2 diseño B1*

Diseño	Bloque	Carga (Kg)	Resistencia a compresión (Kg/cm ²)
B1* A/C: 0.45 Ag: 50	1	3929.81	196.42
	2	2580.88	129.00
	3	2059.78	102.95
	4	3763.45	188.10
	Promedio	3083.48	154.12

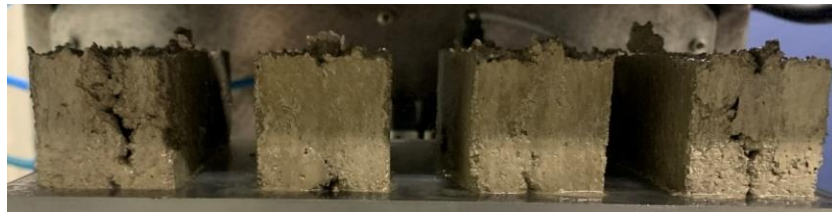


Figura 130. Bloques de tanda 1 diseño B1*



Figura 131. Bloques de tanda 2 diseño B1*



Figura 132. Agujero en el bloque 3 diseño B1*

Observaciones:

- Arena seca al horno adquiere humedad, se debe almacenar en doble bolsa y balde cerrado. Por eso, fue más seca que B1.
- Agujeros en paredes frontales.
- Paredes bien llenas y aplomadas.
- Segunda tanda llena mejor las paredes cortas, pero un agujero en el bloque 3 disminuye su resistencia.
- Separación de capas disminuye la capacidad de la tanda 2.

21. Diseño B2*: 50% de agregado y relación A/C de 0.50**Cuadro 78. Correlación de masa y resistencia a compresión diseño B2***

Tanda	Cantidad de bloques	Masa total (g)	Masa por bloque (g)	Carga promedio (Kg)	Resistencia a compresión promedio (Kg/cm ²)
1	4	813.0	203.3	3048.32	152.36
2	3	824.5	206.1	3250.03	162.44
Promedio		818.8	204.7	3149.17	157.40

Cuadro 79. Resistencia a compresión de la tanda 1 diseño B2*

Diseño	Bloque	Carga (Kg)	Resistencia a compresión (Kg/cm ²)
B2* A/C: 0.50 Ag: 50	1	2708.41	135.37
	2	3582.21	179.04
	3	1942.66	97.10
	4	3959.99	197.93
	Promedio	3048.32	152.36

Cuadro 80. Resistencia a compresión de la tanda 2 diseño B2*

Diseño	Bloque	Carga (Kg)	Resistencia a compresión (Kg/cm ²)
B2* A/C: 0.50 Ag: 50	1	3065.29	153.21
	2	2641.03	132.00
	3	-	-
	4	4043.78	202.11
	Promedio	3250.03	162.44

**Figura 133. Bloques de tanda 1 diseño B2***



Figura 134. Bloques de tanda 2 diseño B2*

Observaciones:

- Mezcla más fluida y se introduce con facilidad en el molde.
- Por querer tomar en cuenta el tamaño reducido de los bloques hizo falta mezcla.
- Mezcla ligeramente más fluida de lo ideal para la mezcla.
- Resistencia promedio muy similar.

22. Diseño B3*: 50% de agregado y relación A/C de 0.55**Cuadro 81. Resistencia a compresión diseño B3***

Tanda	Cantidad de bloques	Carga promedio (Kg)	Resistencia a compresión promedio (Kg/cm ²)
1	2	4012.89	200.57
2	4	3709.63	185.41
Promedio		3861.26	192.99

Cuadro 82. Resistencia a compresión de la tanda 1 diseño B3*

Diseño	Bloque	Carga (Kg)	Resistencia a compresión (Kg/cm ²)
B3* A/C: 0.55 Ag: 50	1	4800.76	239.95
	2	-	-
	3	3225.02	161.19
	4	-	-
	Promedio	4012.89	200.57

Cuadro 83. Resistencia a compresión de la tanda 2 diseño B3*

Diseño	Bloque	Carga (Kg)	Resistencia a compresión (Kg/cm ²)
B3* A/C: 0.55 Ag: 50	1	3905.66	195.21
	2	4098.83	204.86
	3	3580.88	178.98
	4	3253.16	162.60
	Promedio	3709.63	185.41



Figura 135. Bloques de tanda 1 diseño B3*



Figura 136. Bloques de tanda 2 diseño B3*

Observaciones:

- Mezcla muy fuida, se consolida con facilidad y no hay mucha diferencia en el moldeo por el método 1 y el 2.
- Segunda tanda sorpresiva por lo estables que se desmoldaron los bloques.

23. Diseño C0*: 55% de agregado y relación A/C de 0.40



Figura 137. Mezcla muy seca que no es consolidada por vibración diseño C0*

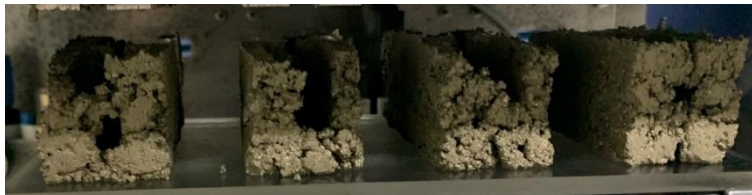


Figura 138. Bloques tanda 1 diseño C0*

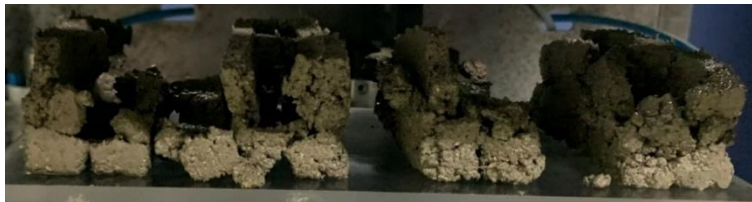
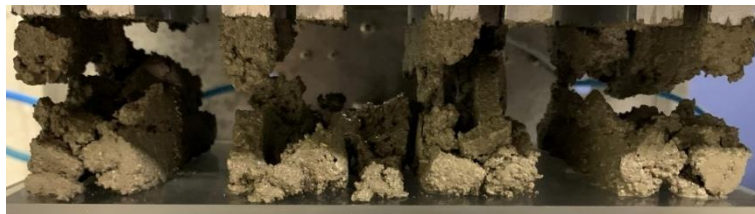


Figura 139. Bloques tanda 2 diseño C0*

Observaciones:

- Mezcla muy seca y poco trabajable.
- La vibración no consolida la mezcla.

24. Diseño C1*: 55% de agregado y relación A/c de 0.45**Figura 140. Pasta de diseño C1* que no permite pasar al estampador****Figura 141. Bloques de tanda 1 diseño C1*****Figura 142. Bloques de tanda 2 diseño C1***

Observaciones:

- Mezcla muy seca para el método 2.
- Vibración no consolida los bloques y la mezcla no baja en el molde.
- No se producen bloques adecuados.

25. Diseño C2*: 55% de agregado y relación A/C de 0.50

Cuadro 84. Correlación de masa y resistencia a compresión diseño C2*

Tanda	Cantidad de bloques	Masa total (g)	Masa por bloque (g)	Carga promedio (Kg)	Resistencia a compresión promedio (Kg/cm ²)
1	0	-	-	-	-
2	1	208.2	208.2	2658.76	132.89
Promedio		208.2	208.2	2658.76	132.89

Cuadro 85. Resistencia a compresión de la tanda 2 diseño C2*

Diseño	Bloque	Carga (Kg)	Resistencia a compresión (Kg/cm ²)
C2* A/C: 0.50 Ag: 55	1	-	-
	2	-	-
	3	-	-
	4	2658.76	132.89
	Promedio	2658.76	132.89

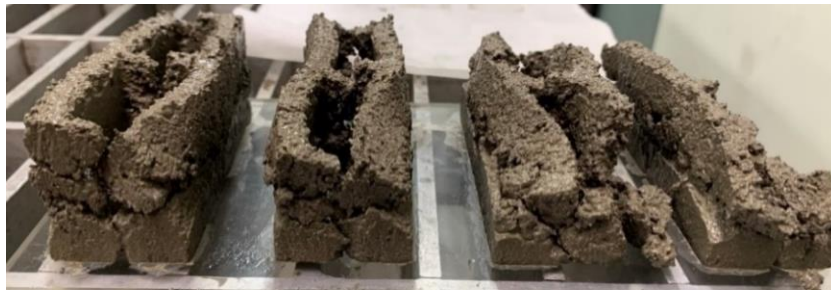


Figura 143. Bloques de tanda 1 diseño C2*



Figura 144. Bloques de tanda 2 diseño C2*

Observaciones:

- Un solo bloque en buenas condiciones.
- Clara separación entre las capas de moldeo.
- Agujero en bloque fallado, su alta resistencia sorprende.
- Resistencia menor a la del diseño C3*, por lo tanto se asume que no funciona.

26. Diseño C3*: 55% de agregado y relación A/C de 0.55**Cuadro 86. Correlación de masa y resistencia a compresión diseño C3***

Tanda	Cantidad de bloques	Masa total (g)	Masa por bloque (g)	Carga promedio (Kg)	Resistencia a compresión promedio (Kg/cm ²)
1	1	226.0	226.0	3883.43	194.10
2	4	831.4	207.9	2904.66	145.18
3	4	905.6	226.4	2971.18	148.50
Promedio		654.3	220.1	3253.09	162.59

Cuadro 87. Resistencia a compresión de la tanda 1 diseño C3*

Diseño	Bloque	Carga (Kg)	Resistencia a compresión (Kg/cm ²)
C3* A/C: 0.55 Ag: 55	1	3883.43	194.10
	2	-	-
	3	-	-
	4	-	-
	Promedio	3883.43	194.10

Cuadro 88. Resistencia a compresión de la tanda 2 diseño C3*

Diseño	Bloque	Carga (Kg)	Resistencia a compresión (Kg/cm ²)
C3* A/C: 0.55 Ag: 55	1	3160.29	157.96
	2	2419.01	120.91
	3	2956.22	147.76
	4	3083.13	154.10
	Promedio	2904.66	145.18

Cuadro 89. Resistencia a compresión de la tanda 3 diseño C3*

Diseño	Bloque	Carga (Kg)	Resistencia a compresión (Kg/cm ²)
C3*	1	3919.21	195.89
	2	2977.01	148.79
	3	2695.67	134.73
	4	2292.81	114.60
	Promedio	2971.18	148.50

**Figura 145. Bloques de tanda 1 diseño C3*****Figura 146. Bloques de tanda 2 diseño C3*****Figura 147. Bloques de tanda 3 diseño C3***

Observaciones:

- Primera tanda no se pudo desmoldar y por eso se hacen 3. No se sabe porque no se desmoldó.
- Bloques de los extremos más resistentes que los del centro.
- Segunda y tercera tanda con resistencias similares, bueno para su reproducibilidad.

27. Diseño D0*: 60% de agregado y relación A/C de 0.55**Cuadro 90. Correlación de masa y resistencia a compresión diseño D0***

Tanda	Cantidad de bloques	Masa total (g)	Masa por bloque (g)	Carga promedio (Kg)	Resistencia a compresión promedio (Kg/cm ²)
1	0	-	-	-	-
2	1	181.7	181.7	1335.01	66.73
Promedio		181.7	181.7	1335.01	66.73

Cuadro 91. Resistencia a compresión de la tanda 2 diseño D0*

Diseño	Bloque	Carga (Kg)	Resistencia a compresión (Kg/cm ²)
D1* A/C: 0.55 Ag: 60	1	-	-
	2	-	-
	3	-	-
	4	1335.01	66.73
	Promedio	1335.01	66.73

**Figura 148. Bloques de tanda 1 diseño D0*****Figura 149. Bloques de tanda 2 diseño D0***



Figura 150. Consistencia de los bloques D0*

Observaciones:

- Mezcla muy seca y difícil de trabajar.
- Se produce un único bloque en condiciones de ser fallado aunque tiene agujeros.
- Muchos vacíos y apariencia deficiente.
- Resistencia muy baja.

28. Diseño D1*: 60% de agregado y relación A/C de 0.60



Figura 151. Bloques de tanda 1 diseño D1*

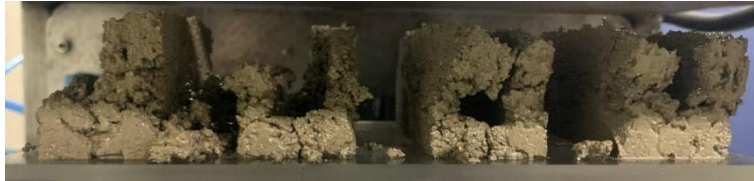


Figura 152. Bloques de tanda 2 diseño D1*

Observaciones:

- Mezcla seca y difícil de trabajar.
- Al igual que el diseño anterior no se introduce en el molde.
- Bloques en muy malas condiciones, ninguno es aceptable.

C. Datos de la relación de masa vs resistencia

Cuadro 92. Masa de los bloques con menor altura

Diseño	Masa Total	Masa Bloque	Resistencia
A2	820.90	205.23	197.05
A2	774.70	193.68	188.29
A2	835.60	208.90	306.57
A2*	208.80	208.80	307.37
A2*	785.20	196.30	196.42
A1	813.10	203.28	267.67
A1	830.00	207.50	236.56
A1	856.50	214.13	315.63
A0	843.50	210.88	215.75
A0	845.60	211.40	247.64
A0	851.20	212.80	334.21
A3	404.20	202.10	315.07
A3	600.00	200.00	199.25
A3*	402.20	201.10	255.47
A3*	607.50	202.50	208.90
B2	840.20	210.05	192.91
B2	845.30	211.33	181.55
B2*	813.00	203.25	152.36
B2*	824.50	206.13	162.44
C0	788.00	197.00	153.14
C0	819.10	204.78	187.05

Cuadro 93. Masa de los bloques con altura corregida

Diseño	Masa Total	Masa Bloque	Resistencia
C1	862.90	215.73	148.75
C1	922.10	230.53	170.87
C2	908.60	227.15	151.99
C2	939.00	234.75	154.06
C2	921.00	230.25	184.85
C2*	208.20	208.20	132.89
C3	933.70	233.43	176.68
C3	939.70	234.93	176.96
C3*	226.00	226.00	194.10
C3*	831.40	207.85	145.18
C3*	905.60	226.40	148.50
D0	892.80	223.20	126.67
D0	914.30	228.58	139.00
D0*	181.70	181.70	66.73
D1	903.90	225.98	102.46
D1	925.40	231.35	112.09

D. Desviación estándar de los diseños realizados por tanda

Cuadro 94. Desviación estándar bloques método 1

Diseño	Tanda	Cantidad de bloques	Resistencia promedio	Desviación Estándar
A0	1	4	215.75	61.3
	2	4	247.64	
	3	4	334.21	
A1	1	4	267.67	39.8
	2	4	236.56	
	3	4	315.63	
A2	1	4	197.05	65.9
	2	4	188.29	
	3	4	306.57	
A3	1	2	315.07	81.9
	2	3	199.25	
B0	1	4	276.47	74.4
	2	4	171.24	
B1	1	4	173.16	67.1
	2	4	268.08	
B2	1	4	192.91	8.0
	2	4	181.55	
B3	1	0	-	-
	2	2	119.31	
C0	1	4	153.14	24.0
	2	4	187.05	
C1	1	4	148.75	15.6
	2	4	170.87	
C2	1	4	151.99	18.4
	2	4	154.06	
	3	4	184.85	
C3	1	4	176.68	0.2
	2	4	176.96	
D0	1	4	126.67	8.7
	2	4	139.00	
D1	1	4	102.46	6.8
	2	4	112.09	

Cuadro 95. Desviación estándar bloques método 2

Diseño	Tanda	Cantidad de bloques	Resistencia promedio	Desviación Estándar
A0	1	0	-	-
	2	0	-	
	3	0	-	
A1	1	0	-	-
	2	0	-	
	3	0	-	
A2	1	1	307.37	78.5
	2	0	-	
	3	4	196.42	
A3	1	2	255.47	32.9
	2	3	208.90	
B0	1	0	-	-
	2	0	-	
B1	1	4	237.52	59.0
	2	4	154.12	
B2	1	4	152.36	7.1
	2	3	162.44	
B3	1	2	200.57	10.7
	2	4	185.41	
C0	1	0	-	-
	2	0	-	
C1	1	0	-	-
	2	0	-	
C2	1	0	-	-
	2	1	132.89	
C3	1	1	194.10	27.3
	2	4	145.18	
	3	4	148.50	
D0	1	0	-	-
	2	1	66.73	
D1	1	0	-	-
	2	0	-	

