

Universidad de Costa Rica
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

Influencia de la cal y la arena de río lavada, en las propiedades físico
mecánicas del mortero de pega de bloques de mampostería

Trabajo de Graduación

Que para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil

Presenta:

Yari Maciel León Ulate

Director de Proyecto de Graduación:

Ing. Alejandro Navas Carro

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

Costa Rica

Mayo, 2016

TRIBUNAL

Estudiante:




Yari Maciel León Ulate

Director:

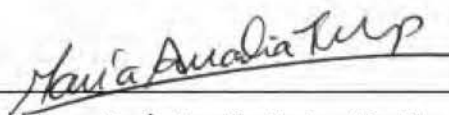


Ing. Alejandro Navas Carro, Msc.

Asesoras:



Ing. Andrea Ramírez Villalba



Ing. María Amalia Trejos Murillo

Fecha: 2016, Mayo, 09

El suscrito, Yari Maciel León Ulate, cédula 4-0217-0141, estudiante de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, con número de carné B03443, manifiesta que es autora del Proyecto Final de Graduación: "Influencia de la cal y la arena de río lavada en las propiedades físico mecánicas del mortero de pega de bloques de mampostería", bajo la Dirección del MSc. Alejandro Navas Carro, 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

Dedico este proyecto de graduación a mis padres: Guido León Carvajal y Lidieth Ulate Cambronerero por su apoyo incondicional y confianza desde el día uno de esta gran aventura. A mis hermanos: Yeri, por la paciencia y apoyo absoluto, y Enrique, por ser un ángel que vino a iluminar nuestras vidas. A todos mis familiares y amigos que me acompañaron y apoyaron durante todo este proceso.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco infinitamente a mi familia por el apoyo, paciencia, comprensión y amor que me tuvieron durante todo el proceso.

A mis amigos que fueron un gran apoyo, que nuestra amistad trascendió más allá de las aulas, que no sólo fuimos amigos de Universidad, nos hizo amigos para el resto de la vida.

Agradezco a mi tribunal: Ing. Alejandro Navas Carro, Ing. Andrea Ramirez Villalba y Ing. María Amalia Trejos Murillo; por su ayuda, consejos, conocimientos teóricos y prácticos compartidos.

Al Laboratorio de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR) por facilitarme sus instalaciones, transporte, materiales, equipo y disposición; ya que fueron vitales para poder llevar a cabo las distintas pruebas de este proyecto de investigación.

A todo el personal del LanammeUCR que colaboraron de una u otra forma en el proyecto, especialmente a los técnicos del Laboratorio de Concreto y Agregados y Laboratorio de Estructuras, por su ayuda y consejos durante los meses en los que se llevó a cabo el proyecto.

A Productos de Concreto (PC) por la donación de los bloques de concreto utilizados en las pruebas.

A cualquier persona que de una u otra forma se vio involucrada en el proyecto.

TABLA DE CONTENIDOS

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	Justificación	1
1.1.1.	Problema	1
1.1.2.	Importancia	2
1.1.3.	Antecedentes	3
1.2.	Objetivos	4
1.2.1.	Objetivo general	4
1.2.2.	Objetivos Específicos	4
1.3.	Marco teórico	5
1.3.1.	Cemento	5
1.3.2.	Agregado Fino	5
1.3.2.1.	Características generales	5
1.3.2.2.	Tipos de arena a utilizar	6
1.3.2.3.	Contenido de humedad	6
1.3.2.4.	Hinchamiento	7
1.3.3.	Cal hidratada	8
1.3.4.	Mortero	8
1.3.4.1.	Descripción general	8
1.3.4.2.	Trabajabilidad	9
1.3.4.3.	Contenido de aire	9
1.3.4.4.	Retención de agua	10
1.3.4.5.	Adherencia	11

1.3.4.6.	Resistencia a la compresión simple	11
1.3.5.	Unidades de mampostería	12
1.3.5.1.	Área neta	12
1.3.5.2.	Resistencia a la compresión	13
1.3.6.	Prueba t-student	13
1.4.	Delimitación del problema	14
1.4.1.	Alcance	14
1.4.2.	Limitaciones	15
1.5.	Descripción de la metodología a usar	15
1.5.1.	Trabajo previo	17
1.5.2.	Proceso experimental	17
1.5.3.	Análisis de resultados	18
2.	PROCESO EXPERIMENTAL	18
2.1.	Preparación de la muestra	18
2.2.	Pruebas realizadas	19
2.2.1.	Cal	19
2.2.1.1.	Caracterización química (ASTM C207)	19
2.2.1.2.	Granulometría (ASTM C-110)	21
2.2.2.	Cemento	21
2.2.2.1.	Gravedad específica (ASTM C188)	21
2.2.3.	Agregado Fino	22
2.2.3.1.	Gravedad específica (ASTM C128)	22
2.2.3.2.	Granulometría y porcentaje de finos (ASTM C136)	22
2.2.3.3.	Peso unitario (ASTM C29)	23

2.2.4.	Mortero fresco	23
2.2.4.1.	Medición de flujo (ASTM-1437)	23
2.2.4.2.	Resistencia a la compresión (ASTM C109)	24
2.2.4.3.	Contenido de aire (ASTM C185)	27
2.2.4.4.	Retención de agua (ASTM C1506)	28
2.2.5.	Bloques de concreto.....	28
2.2.5.1.	Resistencia a la compresión, absorción y área neta (ASTM C140)...	28
2.2.6.	Mampostería.....	29
2.2.6.1.	Resistencia a la compresión de prismas de mampostería (ASTM C1314)	30
2.2.6.2.	Adherencia (cruces de mampostería)	31
3.	RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	33
3.1.	Cal	33
3.1.1.	Granulometría.....	33
3.1.2.	Pruebas químicas	34
3.2.	Agregado Fino	34
3.2.1.	Granulometría.....	35
3.3.	Unidades de mampostería	36
3.3.1.	Resistencia la compresión simple (f'_m) y área neta	36
3.4.	Pruebas al mortero en estado fresco	37
3.4.1.	Contenido de aire.....	37
3.4.2.	Retención de agua	40
3.5.	Pruebas al mortero en estado endurecido.....	43
3.5.1.	Resistencia a la compresión simple	43

3.5.2. Resistencia a la compresión de la mampostería f'_m (Prismas de mampostería)	47
3.5.3. Adherencia (esfuerzo a cortante), cruces de mampostería	53
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	58
4.1. Conclusiones.....	58
4.1.1. Propiedades físicas.....	58
4.1.2. Contenido de aire.....	59
4.1.3. Retención de agua	59
4.1.4. Resistencia a la compresión simple	59
4.1.5. Resistencia a la compresión de la mampostería f'_m (Prismas de mampostería)	60
4.1.6. Adherencia (Esfuerzo a cortante)	60
4.1.7. Conclusiones generales	61
4.2. Recomendaciones	62
5. BIBLIOGRAFÍA.....	64
6. APÉNDICES Y ANEXOS.....	67
6.1. Apéndice A. Datos experimentales del cemento	67
6.2. Apéndice B. Datos experimentales del agregado fino	67
6.3. Apéndice C. Datos experimentales contenido de aire	69
6.4. Apéndice D. Datos experimentales retención de agua.....	71
6.5. Apéndice E. Datos experimentales resistencia a la compresión simple	72
6.6. Apéndice F. Datos experimentales bloques de concreto	83
6.7. Apéndice G. Datos experimentales Resistencia a la compresión de la mampostería (prismas de mampostería)	87
6.8. Apéndice H. Datos experimentales adherencia (cruces de mampostería)	89

TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Curva granulométrica de la arena fina (arena de río lavada)	6
Figura 2. Efecto de la cal en la retención de agua y resistencia a la compresión del mortero	10
Figura 3. Distribución de probabilidad para un intervalo de confianza del 90%	14
Figura 4. Cantidad de pruebas	15
Figura 5. Diagrama de la metodología a utilizar	16
Figura 6. Determinación de la humedad natural e hinchamiento, prueba realizada en arena de río lavada.....	19
Figura 7. Equipo para determinación de la gravedad específica del cemento	21
Figura 8. Equipo utilizado para la determinación del peso unitario suelto y envarillado de la arena	23
Figura 9. Medición de flujo	24
Figura 10. Moldeado de los cubos de mortero, arena de río lavada	25
Figura 11. Cubos de mortero.....	25
Figura 12. Curado de los cubos de mortero	26
Figura 13. Falla de los cubos de mortero, equipo utilizado: SATEC.....	26
Figura 14. Equipo utilizado para la prueba de contenido de aire	27
Figura 15. Equipo utilizado para el ensayo de retención de agua	28
Figura 16. Bloques de concreto coronados para la prueba de resistencia a la compresión simple	29
Figura 17. Falla de los prismas de mampostería	30
Figura 18. Configuración de la cruz de mampostería a utilizar	31
Figura 19. Montaje realizado para la falla de las cruces de mampostería	32
Figura 20. Construcción de cruces de mampostería, ejemplificación de los elementos de madera utilizados	32
Figura 22. Granulometría de las arenas estudiadas	35
Figura 22. Comparación de los resultados de contenido de aire	39

Figura 23. Variación de la retención de agua de la arena de río lavada y la arena industrial	42
Figura 24. Resistencias promedio a la compresión simple de los morteros clase A .	45
Figura 25. Resistencias promedio a la compresión simple de los morteros clase B .	46
Figura 26. Comparación de resistencias a la compresión de arenas y cales utilizadas	47
Figura 27. Comparación resultados de resistencia a la compresión de la mampostería para la arena de río lavada y arena industrial	51
Figura 28. Comparación de resultados de cubos de mortero realizados en condiciones de laboratorio y campo para morteros fabricados con arena de río lavada	52
Figura 29. Comparación de resultados de cubos de mortero realizados en condiciones de laboratorio y campo para morteros fabricados con arena industrial	52
Figura 30. Comparación de resultados de resistencia a cortante entre arena de río lavada y arena industrial	57
Figura 31. Desarrollo de la resistencia a la compresión en morteros fabricados con arena de río lavada.....	82
Figura 32. Desarrollo de la resistencia a la compresión en morteros fabricados con arena industrial	82
Figura 33. Comparación de resultados de cubos de mortero realizados en condiciones de laboratorio y campo para morteros fabricados con arena de río lavada, cruces de mampostería	93
Figura 34. Comparación de resultados de cubos de mortero realizados en condiciones de laboratorio y campo para morteros fabricados con arena industrial, cruces de mampostería	93

TABLA DE CUADROS

Cuadro 1. Proporciones aproximadas requeridas para el mortero cemento-cal según ASTM C270	12
Cuadro 2. Proporciones aproximadas requeridas para el mortero cemento-cal según CSCR 2010.....	12
Cuadro 3. Resistencias a la compresión de la mampostería propuestas por el CSCR10	13
Cuadro 4. Requisitos de composición química de la cal hidratada, según ASTM C-207	20
Cuadro 5. Requisitos ASTM C33, porcentaje de agregado fino pasando acumulado .	22
Cuadro 6. Resultados de granulometría a las tres cales utilizadas en la investigación	33
Cuadro 7. Resultados de las pruebas químicas realizadas a las 3 cales utilizadas durante la investigación	34
Cuadro 8. Resultados de compresión simple de bloques de concreto sencillos	36
Cuadro 9. Resultados de compresión simple de bloques de pared doble	36
Cuadro 10. Contenido de Aire promedio en los morteros fabricados con arena de río lavada	37
Cuadro 11. Contenido de Aire promedio en los morteros fabricados con arena industrial	38
Cuadro 12. Resultados de la prueba t-student para contenido de aire.....	39
Cuadro 13. Retención de agua promedio de los morteros fabricados con arena de río lavada	40
Cuadro 14. Retención de agua promedio de los morteros fabricados con arena industrial	41
Cuadro 15. Resultados de la prueba t-student para retención de agua.....	43
Cuadro 16. Resistencia promedio a la compresión en simple en morteros fabricados con arena de río lavada	44
Cuadro 17. Resistencia promedio a la compresión simple en morteros fabricados con arena industrial	44

Cuadro 18. Resistencia promedio de compresión simple de la mampostería, mortero fabricado con arena de río lavada	48
Cuadro 19. Resistencia promedio a la compresión simple del mortero utilizado en prismas de mampostería fabricados con arena de río lavada medida en cubos de mortero	48
Cuadro 20. Resistencia promedio de compresión simple de la mampostería, mortero fabricado con arena industrial	49
Cuadro 21. Resistencia promedio a la compresión simple del mortero utilizado en prismas de mampostería fabricados con arena industrial medida en cubos de mortero	50
Cuadro 22. Resultados Esfuerzo a cortante en cruces fabricadas con arena de río lavada	54
Cuadro 23. Resistencia a la compresión medida en cubos de mortero, cruces fabricadas con arena de río lavada	54
Cuadro 24. Resultados Esfuerzo a cortante en cruces fabricadas con arena industrial	55
Cuadro 25. Resistencia a la compresión medida en cubos de mortero, cruces fabricadas con arena industrial	55
Cuadro 26. Análisis granulométrico Arena de Río Lavada	67
Cuadro 27. Análisis granulométrico Arena Industrial	67
Cuadro 28. Caracterización de la arena de río lavada y arena industrial	68
Cuadro 29. Resultados de contenido de aire de los morteros fabricados con arena de río lavada.....	69
Cuadro 30. Resultados de contenido de aire de los morteros fabricados con arena industrial	70
Cuadro 31. Resultados de retención de agua en morteros fabricados con arena de río lavada	71
Cuadro 32. Resultados de retención de agua en morteros fabricados con arena industrial	71

Cuadro 33. Resultados de resistencia a la compresión simple en mortero clase A utilizando: arena de río lavada, sin cal	72
Cuadro 34. Resultados de resistencia a la compresión simple en mortero clase A utilizando: arena de río lavada, cal de Guanacaste	72
Cuadro 35. Resultados de resistencia a la compresión simple en mortero clase A utilizando: arena de río lavada, cal de Desamparados	73
Cuadro 36. Resultados de resistencia a la compresión simple en mortero clase A utilizando: arena de río lavada, cal de Cartago	73
Cuadro 37. Resultados de resistencia a la compresión simple en mortero clase B utilizando: arena de río lavada, sin cal	74
Cuadro 38. Resultados de resistencia a la compresión simple en mortero clase B utilizando: arena de río lavada, cal de Guanacaste	74
Cuadro 39. Resultados de resistencia a la compresión simple en mortero clase B utilizando: arena de río lavada, cal de Desamparados	75
Cuadro 40. Resultados de resistencia a la compresión simple en mortero clase B utilizando: arena de río lavada, cal de Cartago	75
Cuadro 41. Resultados de resistencia a la compresión simple en mortero clase A utilizando: arena industrial, sin cal.....	76
Cuadro 42. Resultados de resistencia a la compresión simple en mortero clase A utilizando: arena industrial, cal de Guanacaste	76
Cuadro 43. Resultados de resistencia a la compresión simple en mortero clase A utilizando: arena industrial, cal de Desamparados	77
Cuadro 44. Resultados de resistencia a la compresión simple en mortero clase A utilizando: arena industrial, cal de Cartago.....	77
Cuadro 45. Resultados de resistencia a la compresión simple en mortero clase B utilizando: arena industrial, sin cal.....	78
Cuadro 46. Resultados de resistencia a la compresión simple en mortero clase B utilizando: arena industrial, cal de Guanacaste	79
Cuadro 47. Resultados de resistencia a la compresión simple en mortero clase B utilizando: arena industrial, cal de Desamparados	79

Cuadro 48. Resultados de resistencia a la compresión simple en mortero clase B utilizando: arena industrial, cal de Cartago.....	80
Cuadro 49. Cálculo área neta para bloques de pared sencilla	83
Cuadro 50. Cálculo área neta para bloques de pared doble	83
Cuadro 51. Resultados de resistencia a la compresión de la mampostería para morteros fabricados con arena de río lavada	87
Cuadro 52. Resultados de resistencia a la compresión de la mampostería para morteros fabricados con arena industrial.....	88
Cuadro 53. Resultados resistencia a cortante de elementos de mampostería fabricados con arena de río lavada	89
Cuadro 54. Resultados resistencia a cortante de elementos de mampostería fabricados con arena industrial.....	91
.....	

GLOSARIO

Absorción:	Refiere a la absorción de agua.
Adherencia:	Acción de adherir o adherirse.
Área Neta:	Área efectiva de una sección, sin considerar los huecos que posea.
ASTM:	American Society for Testing and Materials.
CSCR10:	Código Sísmico de Costa Rica 2010.
Ensayo:	Pruebas de propiedades de un espécimen o elemento.
Esfuerzo:	Resultado de la aplicación de una fuerza sobre un área.
Mampostería:	Sistema constructivo en el cual se fabrican elementos estructurales mediante la colocación manual de mampuestos (ladrillos, piedras, bloques de concreto).
Mortero:	Mezcla de un árido fino (arena), un conglomerante (yeso, cal o cemento) y agua.
Prisma de mampostería:	Muestra representativa de la mampostería en un muro.

SIMBOLOGÍA

cm^2 :	Centímetros cuadrados
cm^3 :	Centímetros cúbicos
f'_m :	Resistencia al esfuerzo de compresión de la mampostería
g:	gramos
g/cm^3 :	gramos sobre centímetro cúbico
kN:	Kilo Newtons
kPa:	Kilo Pascales
kg/cm^2 :	Kilogramos sobre centímetro cuadrado
mm:	milímetros
mm^2 :	milímetros cuadrados
μ_n :	Promedio de una serie n de datos

León Ulate, Yari Maciel

Influencia de la cal y arena de río lavada, en las propiedades físico mecánicas del mortero de pega de bloques de mampostería

Proyecto de Graduación – Ingeniería Civil – San José, C.R.:

Y. León U., 2016

xvi, 93, [27]h, ils. col. – 28 refs.

RESUMEN

Se pretendió con este trabajo de investigación, conocer la influencia que posee el uso de cal hidratada en las propiedades físicas mecánicas del mortero de pega de bloques de mampostería, utilizando como agregado fino: arena de río lavada y arena industrial. Específicamente, conocer si la cal produce mejoras en la trabajabilidad presente en la mezcla. Debido a que un mortero más trabajable, genera tiempos de colocación superiores evitando de esta manera asentamientos indeseados, y consecuentemente mejores resultados en juntas verticales y horizontales. A su vez, se esperaba conocer si las propiedades que posee el agregado fino utilizado influye en las propiedades físico mecánicas de la mezcla.

Con el fin de conocer la influencia de la cal, se procedió a realizar inicialmente una amplia revisión bibliográfica, la cual incluyó la obtención de las normas ASTM necesarias. Seguidamente, se realizó la caracterización específica de cada uno de los materiales a utilizar en el proyecto: cal, cemento, agregado fino y bloques de concreto. De igual manera se caracterizó el mortero en estado fresco y endurecido, mediante ensayos de: medición de flujo, retención de agua, contenido de aire y resistencia a la compresión simple. Por último, se le hicieron pruebas a la mampostería para determinar la capacidad de adherencia y resistencia a la compresión de la misma.

Como parte de los resultados se determinó que la cal, especialmente una que presente una composición química y granulometría adecuada, mejoró sustancialmente la plasticidad de un mortero. Así mismo, ocasionó mejoras significativas en la capacidad a retención de agua y adherencia. Sin embargo, y como teóricamente se esperaba, el uso de cal generó un descenso en la resistencia a la compresión simple tanto del mortero como de la mampostería. En cuanto a la influencia del agregado fino, la arena industrial caracterizada por ser un material con partículas angulosas y rugosas, así como una considerable cantidad de finos. Generó mezclas de morteros más trabajables y con capacidades plásticas superiores a un mortero fabricado con arena de río lavada, la cual se caracterizó por su poca cantidad de finos, partículas redondas y lisas. Y.L.U.

MORTERO DE PEGA DE BLOQUES DE MAMPOSTERÍA, INFLUENCIA DE LA CAL, ARENA DE RÍO LAVADA.

Ing. Alejandro Navas Carro
Escuela de Ingeniería Civil

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Justificación

1.1.1. *Problema*

En la actualidad, el Código Sísmico de Costa Rica establece que se debe emplear una buena práctica constructiva de la mampostería. En él, se norman aspectos como: la calidad de los materiales, la resistencia de los bloques de mampostería, las dosificaciones para la fabricación de mortero y concreto, entre otros. En el país la construcción de muros de mampostería y bloques de concreto es la práctica más utilizada en viviendas y edificios con un máximo de tres pisos. Sin embargo, existen prácticas que se realizan en campo que podrían ocasionar problemas para alcanzar la resistencia esperada.

El mortero de pega tiene como función principal adherir las unidades de mampostería, de manera que actúen como un elemento integral que tenga las características de funcionalidad y desempeño deseado. Entre las propiedades que rigen el comportamiento del mortero se encuentran: la trabajabilidad, la retención de agua y el contenido de aire. Cada una de ellas ayudará a facilitar la colocación del mortero, brindará estabilidad para que el mortero sea capaz de soportar el peso que se le proporciona evitando asentamientos diferenciales, y proporcionará un mayor tiempo de colocación.

Uno de los materiales que se encuentra establecido en la dosificación de fabricación de mortero proporcionada por el Código Sísmico de Costa Rica, es la cal. No obstante, en el país no existe normativa para su uso y su fabricación dista significativamente entre caleras. En cuanto a la arena de río lavada, esta posee pocos finos así como materia orgánica. Además, cuenta con partículas de forma redondeadas que podrían llegar a generar problemas de resistencia. Una correcta dosificación de arena y cal, proporcionará mayor área de contacto entre partículas, con lo cual se evita la contracción durante la fragua.

Generalmente, se asocia el rendimiento del mortero con su capacidad a compresión simple debido a que su medición es simple y rápida. En mampostería, es posible determinar la resistencia a compresión simple mediante prismas de mampostería y la resistencia a cortante

mediante cruces de mampostería. Este ensayo permitirá medir de manera indirecta la adherencia.

1.1.2. Importancia

La importancia de esta investigación recae en conocer los beneficios que conlleva la utilización de cal hidratada en la fabricación del mortero de pega de bloques de mampostería. Se llevó a cabo con el fin de conocer más a fondo las propiedades plásticas del mortero, y el beneficio que la cal puede generar en ellas.

En Costa Rica, en los últimos años no ha sido normal utilizar la cal en el campo de la construcción. Se ha presentado el uso de la cal en morteros pre empacados de pega de bloques de mampostería los cuales contienen, además de cal, aditivos, con beneficios en la trabajabilidad. Una trabajabilidad más alta en la mezcla permite mayor tiempo de colocación de los bloques de mampostería, con lo cual se obtiene mejores resultados en las juntas verticales y horizontales. Una de las propiedades más influyentes para el aumento en la trabajabilidad es la retención de agua, la cual se ve directamente influenciada por el uso de cal.

Con el paso de tiempo, la cal es capaz de producir una reacción química denominada carbonatación, la cual ayuda a sellar las grietas que se forman en el mortero, permitiendo aumentar la vida útil de las estructuras.

La arena utilizada en la fabricación del mortero depende de la facilidad de obtención de la misma, por lo que es importante definir la influencia que generaría el uso de una u otra arena en las propiedades plásticas del mortero. Esta investigación se centró en la arena de río lavada, teniendo en cuenta que esta posee pocos finos, una forma redondeada y una textura lisa. La utilización de esta arena en la fabricación de mortero no es tan común debido a que pocas empresas la distribuyen.

Este proyecto pretende continuar con la investigación que realizó Catherine Acón en el 2014 acerca de los beneficios de la cal en la fabricación de mortero para pega de bloques de mampostería. Se espera con los resultados de esta investigación corroborar los múltiples beneficios que brinda la cal a las propiedades plásticas del mortero obtenidos en dicha investigación. De igual manera, se busca generar bases para una práctica constructiva adecuada utilizando dosificaciones que contengan cal, que permita aumentar la calidad y vida útil de las edificaciones en mampostería.

Además, procura funcionar como base para la normalización de la cal como material de construcción formalmente. Se espera conocer, si el tipo de arena es uno de los aspectos influyentes en las propiedades del mortero, en específico si la cantidad de finos que posee cada tipo de arena generará una influencia importante en cuanto a la plasticidad presente en el mortero.

1.1.3. Antecedentes

En Estados Unidos el uso de cal para preparar el mortero de pega de bloques se encuentra completamente implementado y normado. Ejemplo de esto es que se cuenta con proporciones volumétricas debidamente establecidas en las normas ASTM. Dichas dosificaciones se basan en las propiedades que se desea obtener o bien mejorar en el mortero. En cuanto a antecedentes en el territorio nacional, se poseen pocos registros de la utilización de la cal para la preparación del mortero de pega de bloques de mampostería.

En el 2014, Acón en su trabajo final de graduación **“Influencia de la cal nacional en las propiedades del mortero para pega de bloques en mampostería”**, estudió la influencia de la cal nacional y extranjera en las propiedades plásticas y endurecidas del mortero de pega de bloques. Específicamente, se estudiaron propiedades como la retención de agua, contenido de aire y resistencia a la compresión simple a edades de 7, 14 y 28 días. Se concluyó que la cal nacional cumple con las normativas requeridas por el ASTM, mientras que las extranjeras no. Además, se determinó que el uso de cal mejora sustancialmente las propiedades del mortero de pega, cumpla o no con las normativas.

En el trabajo final de graduación de Eliecer Arias (2012) **“Evaluación de las propiedades del mortero pre empacado para pega de bloques de mampostería”**, se pretendió conocer las propiedades que poseen los morteros pre empacados utilizados en el territorio nacional y a su vez saber si estos cumplen con las normas nacionales e internacionales. Se concluyó que todos los morteros analizados cuentan con las propiedades óptimas para su uso en el mortero de pega de bloques.

En el 2001, Chacón en su trabajo final de graduación **“Análisis y evaluación técnica en morteros para repellos y recomendaciones para su uso”**, analizó el desarrollo de grietas y de adherencia generados por distintas dosificaciones de los morteros de repello. Se logró determinar en esta investigación, que la arena que se utiliza es influyente en las propiedades

plásticas de mortero, mientras que la cal no aportó de manera significativa en dichas propiedades, es decir no obstaculizó la formación de grietas.

Se cuenta con las dosificaciones volumétricas de cemento, arena y cal hidratada recomendadas por el Código Sísmico de Costa Rica 2010 en su sección A.1.4, para fabricar los morteros tipo A, B y C, los cuales corresponden a M, S y N respectivamente. De igual manera, se poseen las proporciones volumétricas establecidas en las normas ASTM.

1.2. Objetivos

1.2.1. *Objetivo general*

Estudiar los beneficios que brinda el uso de cal hidratada en las propiedades físico-mecánicas del mortero de pega de bloques de mampostería, cuando se utiliza arena de río lavada y arena industrial.

1.2.2. *Objetivos Específicos*

1. Identificar las características químicas y granulométricas de las 3 cales nacionales a utilizar, por medio de pruebas de laboratorio.
2. Identificar las propiedades físico-mecánicas como la retención de agua, contenido de aire y flujo, de los morteros a realizar con arena de río lavada y 3 cales nacionales, mediante pruebas de laboratorio.
3. Medir experimentalmente y analizar los resultados obtenidos de las pruebas de compresión simple a los 7 y 28 días realizadas a morteros de pega de bloques de mampostería, fabricados con 3 cales nacionales y arena de río lavada.
4. Medir experimentalmente y analizar los resultados obtenidos de las pruebas de compresión de la mampostería a los 28 días.
5. Medir experimentalmente y analizar los resultados obtenidos en las pruebas de cortante (adherencia) realizadas a morteros de pega de bloques de mampostería, mediante el método de cruces para determinar la adherencia, con 3 cales nacionales y arena de río lavada, a los 28 días.

1.3. Marco teórico

El mortero es una mezcla de material cementante, agregado fino (arena) y agua. Para mejorar las propiedades del mortero se acostumbra a agregar otros materiales como: cal y aditivos (según sea la propiedad a mejorar). Generalmente se utiliza en obras de albañilería como material de unión, sellado de juntas y revestimiento de paredes. En el caso de revestimiento de paredes, su objetivo es principalmente arquitectónico debido a que permite mejorar la apariencia de las estructuras. En el caso de ser utilizado como material de unión, su función es estructural debido a que permite la transmisión de cargas de un mampuesto a otro de la manera más adecuada. Este principio se ha utilizado desde hace siglos, y a través del tiempo estas técnicas han mejorado para garantizar estructuras más complejas y seguras. A continuación, se describirán los componentes principales del mortero.

1.3.1. *Cemento*

El cemento es un polvo fino, con propiedades adhesivas y cohesivas. Al ser mezclado con agua, fragua dándole la capacidad de aglutinar fragmentos minerales (agregados) para formar un todo compacto. Esta pasta gana resistencia y dureza con el transcurso del tiempo, siempre y cuando se dé una hidratación adecuada y continua. El tipo de cemento influye en las características finales del mortero. En Costa Rica el más utilizado es el cemento UG (Uso General), el cual no posee requisitos ni propiedades especiales. En el país existen varios tipos de morteros industrializados y estos se clasifican según se resistencia a los 28 días.

1.3.2. *Agregado Fino*

1.3.2.1. *Características generales*

Es posible obtener el agregado fino por medios naturales, de fuentes aluviales o canchales y por métodos de trituración de rocas. Según su procedencia se podría clasificar en: arena de río, arena de tajo y arena industrial (más conocida como polvo de piedra).

La arena es aquel material granular que pasa a través de la malla #4, es decir su tamaño máximo es de aproximadamente 4,75 mm. Como características representativas del

agregado fino, se encuentra que debe estar libre de impurezas, materia orgánica y debe cumplir la norma ASTM C-144-11, con el fin de lograr obtener propiedades óptimas de trabajabilidad y adherencia.

El agregado fino es el material que se encuentra en mayor proporción en el mortero.

1.3.2.2. Tipos de arena a utilizar

La arena de río lavada es una arena natural, cribada y lavada de alta calidad, que da como resultado una de las mejores arenas disponibles en el país: limpia, fina; sin limos, arcillas ni "huevillos". **Cumple con los requisitos de la especificación ASTM C33 para agregados finos.** (Grupo H & M, 2014).

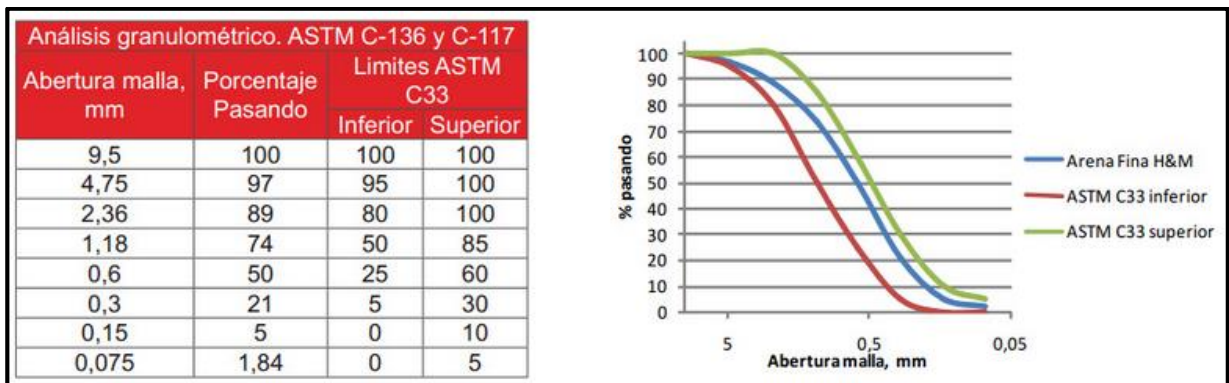


Figura 1. Curva granulométrica de la arena fina (arena de río lavada)

Fuente: (Grupo H & M, 2014)

La arena industrial es una arena manufacturada, que se obtiene a partir de un proceso de extracción, trituración y cribado de material de cantera. Entre sus usos más frecuentes se encuentran: concretos estructurales, expuestos, lanzados, elementos prefabricados, morteros de mampostería, fabricación de bloques y adoquines.

1.3.2.3. Contenido de humedad

La superficie de los agregados presenta alguna porosidad, por lo que el agua puede ser absorbida en los vacíos de las partículas, o bien, puede ser retenida en la superficie de estas como una capa de humedad (agua absorbida).

Existen cuatro condiciones de humedad (w) en los agregados:

- a. Seco al horno: el agregado se mantiene dentro del horno a 100 °C – 110 °C hasta peso constante, usualmente alrededor de 24 horas. Es una condición específica de laboratorio y sirve como parámetro.
- b. Seco al aire: la superficie de las partículas está seca aunque hay alguna humedad dentro de los poros.
- c. Saturado superficie seca: también es una condición de laboratorio y se da cuando los poros están llenos de agua pero no hay exceso de esta en la superficie. Es la única condición en la que el agregado no absorbe ni cede agua.
- d. Con agua libre: los poros están llenos de agua y hay un exceso de humedad en la superficie de las partículas.

A la hora de realizar la mezcla, es necesario conocer el contenido de humedad del agregado porque se pueden presentar dos situaciones:

- Si los agregados están secos absorben parte del contenido de agua de la pasta, reduciendo de esta manera la relación agua cemento y generando problemas de trabajabilidad.
- Si están húmedos (humedad mayor que su potencial de absorción) aportan agua a la mezcla, aumentando la relación agua/cemento y fluidez de la mezcla.

1.3.2.4. *Hinchamiento*

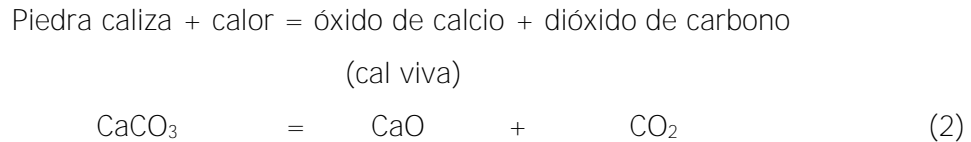
Este fenómeno consiste en un aumento del volumen masivo de agregado fino con respecto al volumen que ocupaba su masa seca inicial. Se da por la presencia de agua libre, ya que esta se deposita entre los espacios entre partículas y debido a la tensión superficial forma un menisco. La formación de este menisco crea capas de agua más gruesas entre las partículas de agregado lo que las mantiene separadas y aumenta el volumen masivo. Cuando la arena se satura, el menisco se destruye por lo que el volumen se reduce.

El aumento en el volumen masivo de la arena debido al hinchamiento puede expresarse, de la siguiente manera:

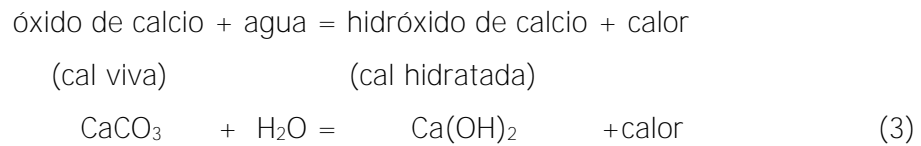
$$h = \frac{\Delta V_m}{V_m} \quad (1)$$

1.3.3. Cal hidratada

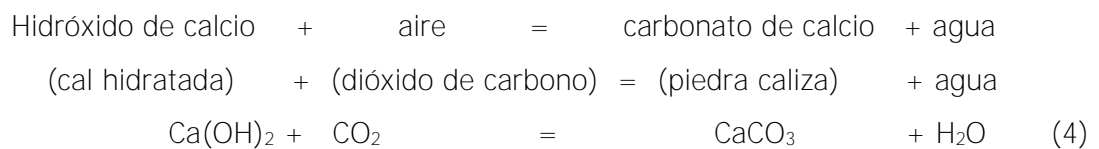
Desde tiempos de los romanos, se ha hecho mortero para mampostería usando cal y arena. Primero, se calienta (es decir, se calcina) piedra caliza (carbonato de calcio) para producir la cal viva (óxido de calcio). El proceso para la obtención de cal hidratada se evidencia a continuación:



Para formar el mortero, se mezcla la cal viva con agua para producir la cal hidratada en una reacción exotérmica:



Finalmente, en contacto con el dióxido de carbono del aire se convierte el hidróxido de calcio en carbonato de calcio. Esta reacción tiene lugar durante varios años:



La cal permite mejorar las propiedades plásticas del mortero. A su vez, experimenta con el tiempo la reacción química de carbonatación, la cual en el caso de formación de grietas actúa como sello en la fisura, impidiendo su propagación. De manera paralela, permite mantener o aumentar la resistencia del elemento de mampostería.

1.3.4. Mortero

1.3.4.1. Descripción general

La función principal de los morteros de pega es adherir las unidades de mampostería, de manera que actúen como un elemento integral que tenga las características de funcionalidad y desempeño deseadas. El mortero influye en las propiedades estructurales del elemento, por lo que se debe poseer las propiedades plásticas deseadas y que cumpla con las especificaciones ASTM. Entre las propiedades con las que se debe contar se encuentran:

- Mortero en estado plástico (mortero fresco)
 - Retención de agua
 - Consistencia
 - Adherencia
 - Trabajabilidad

- Mortero endurecido (ASTM C270)
 - Resistencia
 - Adherencia
 - Durabilidad

1.3.4.2. Trabajabilidad

La trabajabilidad es una propiedad que combina otras propiedades interrelacionadas, como lo son: consistencia, retención de agua, tiempo de colocación, peso, adhesión y penetrabilidad. Un mortero trabajable, es aquel que se esparce fácilmente y permite la adecuada colocación sin derramarse y un buen soporte del bloque para que no se asiente ni se tuerza. Puede medirse por medio del flujo del mortero: un flujo de $110\% \pm 10\%$ el cual en teoría permite una buena trabajabilidad para la pega de bloques.

1.3.4.3. Contenido de aire

El contenido de aire en la mezcla permite el aumento en la trabajabilidad ya que los vacíos son llenados por burbujas de aire que facilitan el roce entre partículas, pero mucho aire en la mezcla podría afectar otras propiedades como durabilidad y resistencia. En cuanto al contenido de aire, un mortero con cemento y cal tiene un contenido típico de aire de 2% a 4%.

1.3.4.4. Retención de agua

La retención de agua evita que el agua de la mezcla se pierda rápidamente, ya sea por evaporación o bien por infiltración a las unidades de mampostería. Tener una adecuada retención de agua en el mortero evita que se pierda agua de la mezcla. Al retener el agua por más tiempo permite que se dé una prolongada hidratación del cemento. Cuando se posee una retención de agua adecuada, el mortero permanece plástico el tiempo suficiente permitiendo que las piezas de mampostería sean alineadas, niveladas, aplomadas y ajustadas sin dañarlas, o bien que se pierda la unión entre las piezas y el mortero. La pérdida repentina de agua provoca que se endurezca rápidamente de modo que imposibilita una adecuada adherencia.

La retención de agua se puede ver afectada por los materiales que se utilicen en la fabricación del mortero, así como las proporciones de los mismos. En la Figura 2, es posible observar el efecto que poseen dichas proporciones, no solo en la retención de agua sino en la resistencia a la compresión simple.

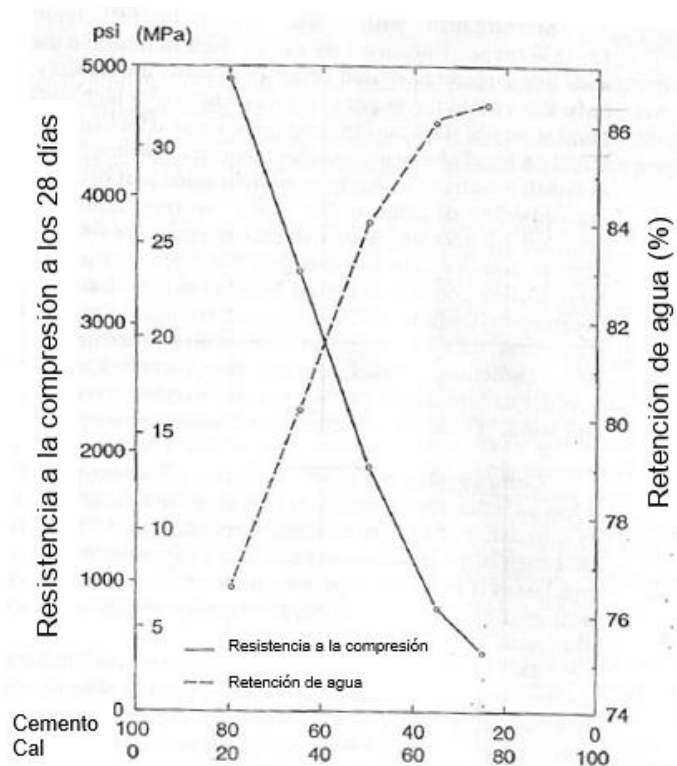


Figura 2. Efecto de la cal en la retención de agua y resistencia a la compresión del mortero

Fuente: (Amad, Prysedale, & Baker, 2008)

Modificado: Autora, 2016

1.3.4.5. Adherencia

La adherencia en el mortero, es la encargada de resistir esfuerzos de tensión debido a fuerzas externas e internas provocadas por la contracción y los cambios de temperatura. La adherencia se puede ver afectada por: la relación agua-cemento, resistencia, cohesión, las propiedades de la mampostería (porosidad, absorción, resistencia de las unidades de mampostería), condiciones de curado y mano de obra. Esta propiedad es importante debido a que la mampostería debe transmitir cargas en diferentes direcciones y entre distintos elementos estructurales.

1.3.4.6. Resistencia a la compresión simple

La resistencia a la compresión simple es la propiedad más utilizada para caracterizar los morteros, y es utilizada para medir el grado de calidad. Se mide mediante cubos de 50 mm de arista normados por la ASTM C109. Se asocia la resistencia a la compresión simple con la cantidad de cemento presente en la mezcla.

Es posible clasificar el mortero según su resistencia a los 28 días en: M, mortero de alta resistencia a la compresión (176 kg/cm^2) y adherencia con las unidades; S con moderada resistencia a la compresión (126 kg/cm^2) y adherencia; N de baja resistencia (53 kg/cm^2) y adherencia; y O, que es utilizado sólo en casos que no involucren usos estructurales. El mortero se debe diseñar ya sea por proporción o por las propiedades deseadas a obtener, en caso de diseñar por proporciones se presentan a continuación las recomendaciones brindadas por la norma ASTM C270 y el Código Sísmico de Costa Rica.

Cuadro 1. Proporciones aproximadas requeridas para el mortero cemento-cal según ASTM C270

Tipo de mortero	Proporciones volumétricas del mortero		
	Cemento Portland u otro cemento	Cal hidratada	Arena para mampostería (2 ¼ a 3 veces el volumen de los materiales cementantes)
M	1	≤ ¼	3
S	1	½	4½
N	1	1	6
O	1	2	9

Fuente: ASTM C270

Modificado por: Autora, 2016

Cuadro 2. Proporciones aproximadas requeridas para el mortero cemento-cal según CSCR 2010

Tipo de mortero	Proporciones volumétricas del mortero		
	Cemento Portland u otro cemento	Cal hidratada	Arena para mampostería (2¼ a 3 veces el volumen de los materiales cementantes)
A	1	¼	3
B	1	½	4
C	1	¾	5

Fuente: (Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica, 2011)

Modificado por: Autora, 2016

1.3.5. Unidades de mampostería

1.3.5.1. Área neta

Los bloques de concreto son huecos y poseen una variación del espesor en las paredes en torno a su altura. Esto hace necesario conocer el área efectiva con la que se cuenta para

transmitir las cargas a través del bloque. Para esto es necesario conocer el área neta promedio, la cual se determina por el método de volúmenes absolutos descrito en la norma ASTM C140. Este valor representa el equivalente al área bruta menos la parte hueca de la mampostería, en un punto medio entre la parte superior e inferior del bloque.

1.3.5.2. Resistencia a la compresión

Más relevante que conocer la resistencia del mortero y los bloques de mampostería como elementos individuales, es importante conocer la resistencia a la compresión simple de la mampostería. Será esta la encargada de definir la resistencia que se genera cuando los dos elementos interactúan entre sí. Factores como el módulo de elasticidad y coeficiente de Poisson afectan el comportamiento de los elementos cuando interactúan. Una incompatibilidad significativa en la deformación axial de los dos materiales puede provocar una separación temprana de los bloques y una deformación lateral mayor. Por parte del mortero, puede generar esfuerzos de tracción en los bloques afectando la resistencia del espécimen.

De acuerdo con el Código Sísmico de Costa Rica 2010, el valor de f'_m mínimo a emplear para las diferentes clases de mampostería es el indicado a continuación:

Cuadro 3. Resistencias a la compresión de la mampostería propuestas por el CSCR10

Mampostería Clase	f'_m sobre el área neta kg/cm ²
A	100
B	70
C	60

Fuente: (Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica, 2011)

Modificado por: Autora, 2016

1.3.6. Prueba t-student

La prueba T de Student sirve para verificar de manera estadística, si una serie de datos son similares entre sí o si la diferencia entre ellos es significativa. Se prueba la hipótesis de si $\mu_1 \neq \mu_2$. Se verifica que se cumpla ya sea $\mu_1 > \mu_2$ o que $\mu_1 < \mu_2$, de esta manera se podrá

concluir si existe una diferencia significativa entre los resultados. En el caso de este trabajo de investigación, se realizó el análisis de los resultados bajo una distribución de confianza del 90%, ilustrándose como se muestra en la siguiente figura.

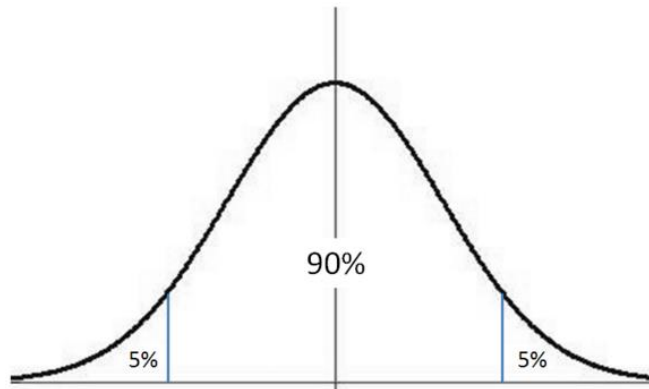


Figura 3. Distribución de probabilidad para un intervalo de confianza del 90%

La prueba T de student genera un valor de probabilidad denominada P; para determinar si existe o no una diferencia significativa entre los datos analizados, el valor de P debe ser menor a 0,05.

1.4. Delimitación del problema

1.4.1. Alcance

Se eligieron 3 clases de cales; dichas cales se seleccionaron basándose en los resultados obtenidos del trabajo final de graduación de Acón (2014). Específicamente, se obtuvo una de ellas de la zona de Guanacaste mientras que las otras dos de caleras del Gran Área Metropolitana. Las fuentes de cal elegidas para la investigación son: Industrias de Calcio (Barra Honda-Guanacaste), Roy Villalobos (San Miguel-Desamparados) y Alvarado (San Miguel-Cartago). Se le realizaron pruebas químicas a la cal, así como su respectivo análisis granulométrico, con el fin de verificar si cumple o no con las especificaciones de la American Society for Testing and Materials (ASTM).

Se realizaron ensayos para determinar las propiedades de: el cemento UG, la arena de río lavada, la arena industrial y los bloques de mampostería. Estas pruebas fueron realizadas

con el fin de verificar que los materiales a utilizar en la investigación cumplan con las fichas técnicas y normativa del ASTM.

Se prepararon morteros clase A y clase B, tomando como guía las dosificaciones volumétricas estipuladas en el Código Sísmico de Costa Rica. A los morteros fabricados, se les realizaron pruebas de retención de agua, contenido de aire, pruebas de flujo y compresión simple a los 7 y 28 días (3 cubos para cada edad de falla). De igual forma, se ensayaron prismas de mampostería para medir la resistencia (3 muestras para cada mortero), y cruces de mampostería para medir la adherencia (4 muestras para cada mortero), ambos con una edad de falla a 28 días. Todas las pruebas se hicieron siguiendo la normativa impuesta por la ASTM. Se efectuaron un total 152 pruebas. Seguidamente, se presentan los principales grupos de pruebas a realizar.

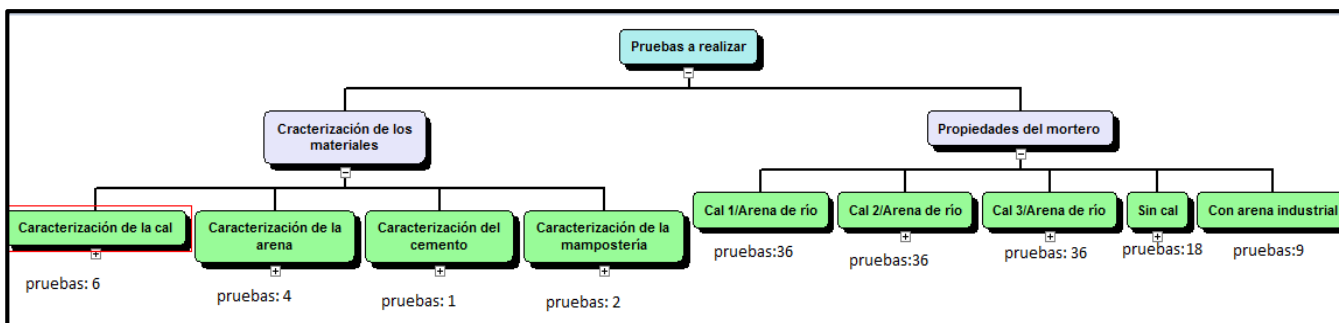


Figura 4. Cantidad de pruebas

1.4.2. Limitaciones

Las pruebas se realizaron en el Laboratorio de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME), por lo que las fechas para la ejecución de las pruebas se encontraron sujetas a los horarios y disposición del laboratorio.

Las propiedades de la cal en el momento del muestreo, se encuentran sujetas tanto a las condiciones meteorológicas presentes, como al método de fabricación de la misma, procedimiento que varía dependiendo de la calera donde se obtenga. Se trabajará con cales de únicamente 3 caleras, aunque se conoce que en el país existen varias caleras más.

1.5. Descripción de la metodología a usar

La metodología seguida en el desarrollo del proyecto se muestra en la Figura 5.

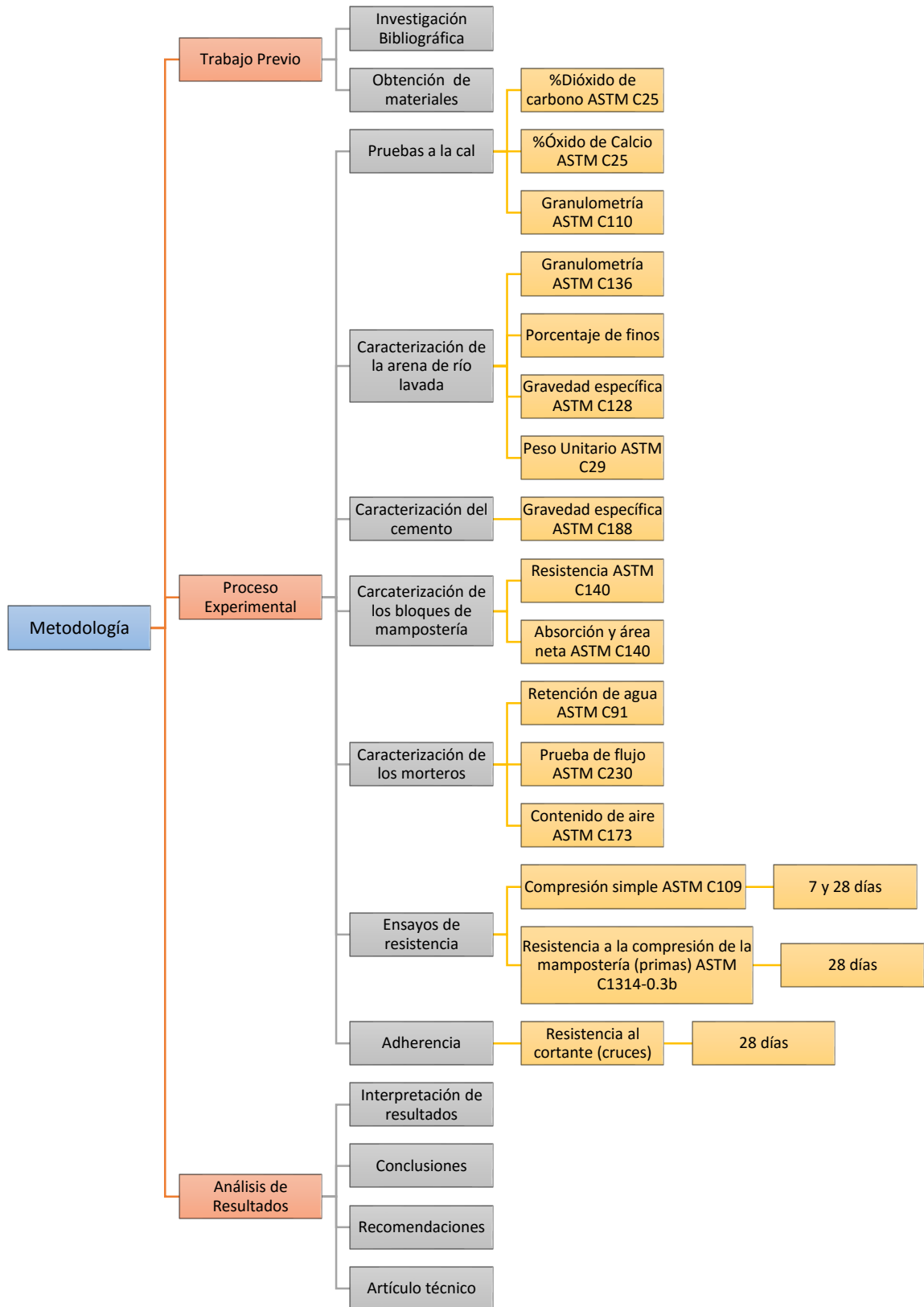


Figura 5. Diagrama de la metodología a utilizar

Para la realización del proyecto se estableció una metodología que cuenta con 3 etapas, las cuales serán detalladas a continuación:

1.5.1. Trabajo previo

Se procedió inicialmente a recopilar la información bibliográfica necesaria, así como la obtención de las normas ASTM requeridas para cada uno de los ensayos realizados. Se estudiaron las propiedades que poseen los morteros clase A y clase B, al igual que las dosificaciones establecidas por parte de la ASTM y del Código Sísmico de Costa Rica. La revisión bibliográfica se hizo paralelamente al proceso experimental.

Basándose en las dosificaciones antes mencionadas, se calcularon las cantidades necesarias de cada uno de los materiales para el proceso experimental. Dichos materiales se solicitaron a los proveedores elegidos. Las caleras se seleccionaron basándose en los resultados obtenidos por Acón, 2014.

1.5.2. Proceso experimental

En un laboratorio químico, se caracterizaron químicamente las cales utilizadas en la investigación, dichas pruebas permitieron establecer el porcentaje de dióxido de carbono y óxido de calcio. Además, en el LanammeUCR se realizaron los ensayos granulométricos a las distintas cales utilizadas.

En cuanto a la caracterización de los materiales, a la arena se le efectuaron pruebas de: granulometría, peso específico, gravedad específica y porcentaje de finos. Al cemento UG, se le aplicó únicamente la prueba de gravedad específica. Y a los bloques de mampostería, se le realizaron ensayos de resistencia, absorción y área neta.

Se fabricaron morteros clase A y clase B para las tres cales, utilizando arena de río lavada y arena industrial. Dichos morteros se sometieron a ensayos para evaluar sus propiedades. En estado fresco, se le realizaron pruebas de retención de agua, contenido de aire y flujo. Para medir las propiedades en estado endurecido se efectuaron pruebas de compresión simple a los 7 y 28 días de fabricados. Se elaboró un mortero sin cal con cada una de las arenas utilizadas, al cual se le efectuaron todos los ensayos antes mencionados. Dicha mezcla fungió como patrón de comparación para los morteros fabricados con cal.

Se midió la resistencia a la compresión de la mampostería ($f'm$) a los 28 días de edad, mediante pruebas de compresión a prismas de mampostería. La adherencia se obtuvo gracias a ensayos de cortante que se les efectuaron a cruces de mampostería, con una edad de falla de 28 días.

1.5.3. Análisis de resultados

Una vez realizada la totalidad de las pruebas se procedió a interpretar, analizar y representar los datos obtenidos por medio de gráficos y cuadros. De esta manera, se logró establecer una relación entre las distintas propiedades estudiadas de los morteros. Con las relaciones establecidas, fue posible la redacción de las conclusiones y recomendaciones encontradas en la investigación. Por último, culminado el análisis se realizó un artículo técnico en el que se incluyó un resumen de: la metodología realizada, los resultados obtenidos, las conclusiones y las recomendaciones planteadas sobre el uso de la cal en los morteros de pega de bloques de mampostería.

2. PROCESO EXPERIMENTAL

2.1. Preparación de la muestra

Todo el agregado fino a utilizar en la investigación fue previamente tamizado por la malla 4 y homogenizado en la batidora, para posteriormente ser almacenado en sacos de 50 kg.

Antes de la fabricación de cualquier muestra de mortero, se saturó el agregado fino a utilizar con una anticipación de mínimo 24 horas. Este procedimiento se llevó a cabo tanto en la arena industrial como en la arena de río lavada.

Además, se le realizaron pruebas a arena para determinar la humedad natural que presentaba en su estado de almacenamiento. De igual forma, experimentos para determinar el hinchamiento que se podía presentar debido a la presencia de agua libre.



Figura 6. Determinación de la humedad natural e hinchamiento, prueba realizada en arena de río lavada

Para la dosificación del mortero, se utilizó aquella recomendada por el Código Sísmico de Costa Rica 2010. Dichas proporciones volumétricas en el caso de mortero clase A son: 1 volumen de cemento, 3 volúmenes de arena y $\frac{1}{4}$ de volumen de cal. En el caso del mortero clase B: 1 volumen de cemento, 4 volúmenes de arena y $\frac{1}{2}$ de volumen de cal. Para cada tipo de mortero (16 tipos en total fueron fabricados), se calculó el agua necesaria para cumplir con el flujo establecido de acuerdo con la norma ASTM-1437. Las proporciones fueron medidas en probetas de 500 ml.

2.2. Pruebas realizadas

2.2.1. Cal

2.2.1.1. Caracterización química (ASTM C207)

Se muestrearon las 3 cales utilizadas (Industrias de Calcio-Guanacaste, Roy Villalobos -Desamparados y Alvarado-Cartago). Se tomó una muestra, a la cual se le realizaron las pruebas químicas pertinentes en el Laboratorio Químico Lambda, para conocer su contenido de: hidróxido de calcio Ca(OH)_2 , hidróxido de magnesio Mg(OH)_2 y dióxido de carbono CO_2 . A

continuación, se detalla un cuadro con los porcentajes mínimos requeridos de los compuestos anteriormente mencionados, que la cal hidratada a utilizarse para mortero de pega de bloques de mampostería debe poseer:

Cuadro 4. Requisitos de composición química de la cal hidratada, según ASTM C-207

	Tipo N (Cal Hidratada Normal)	Tipo NA (Cal Hidratada normal con inductor de aire)	Tipo S (Cal Hidratada Especial)	Tipo SA (Cal hidratada especial con inductor de aire)
Hidróxido de calcio y de magnesio, mínimo, %	95	95	95	95
Dióxido de carbono, máximo, %				
Muestra tomada del sitio de fabricación	5	5	5	5
Muestra tomada de cualquier otro sitio	7	7	7	7
Óxidos no hidratados, máximo, %	-	-	8	8

2.2.1.2. Granulometría (ASTM C-110)

Se realizó la granulometría a las 3 cales a utilizar durante la investigación. Este análisis granulométrico consistió en lavar una muestra de aproximadamente 100 g de cal con agua a una presión de 69 kPa. De acuerdo con la norma ASTM, estas cales deben tener como máximo un 0,5% de material retenido en la malla #30.

2.2.2. Cemento

2.2.2.1. Gravedad específica (ASTM C188)

Durante todas las pruebas se trabajó con el cemento UG de Holcim. Para la determinación de la gravedad específica, se hizo uso de keroseno con una densidad de 0,73 g/ml a una temperatura de $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Siguiendo el procedimiento descrito en la norma ASTM C188, se determinó la densidad del cemento.



Figura 7. Equipo para determinación de la gravedad específica del cemento

2.2.3. Agregado Fino

2.2.3.1. Gravedad específica (ASTM C128)

Se muestreó un aproximado de 1000 gramos de arena, el cual de acuerdo con la norma se sometió a un proceso de secado al horno durante 24 h y sumergido en agua durante otras 24 horas. Esta prueba permite conocer si de acuerdo a su gravedad específica, se trabaja con un agregado normal (2,50 a 2,75), ligero (menos de 2,5) o pesado (más de 2,75). La gravedad específica permite establecer una relación entre el peso y volumen de los agregados, comparándolo con la densidad del agua.

2.2.3.2. Granulometría y porcentaje de finos (ASTM C136)

Se seleccionó una muestra de las dos arenas a utilizar, a cada una de las cuales se le realizó el análisis granulométrico según el procedimiento que indica la norma ASTM. Se utilizaron diez aberturas de malla y la charola.

El agregado a utilizar debe cumplir con los siguientes requisitos:

Cuadro 5. Requisitos ASTM C33, porcentaje de agregado fino pasando acumulado

		Requisito ASTM C-33	
N° de malla	Abertura (mm)	Límite inferior	Límite superior
N°4	4.75	95	100
N°8	2.36	80	100
N°16	1.18	50	85
N°30	0.6	25	60
N°50	0.3	5	30
N°100	0.15	0	10
N°200	0.075	0	5

Dado que la mezcla fue previamente lavada por la malla 200 para eliminar los finos presentes, para determinar el porcentaje de finos en el material se tomó un peso antes y después del lavado y, por diferencia de valores, se determinó la cantidad de finos presentes en el agregado. La muestra ya lavada fue la que se sometió al análisis granulométrico.

2.2.3.3. *Peso unitario (ASTM C29)*

Se determinó el peso unitario suelto y el peso unitario envarillado, siguiendo el procedimiento descrito en la norma ASTM. Esta prueba permite conocer la razón entre el peso del agregado y su volumen, teniendo en cuenta los vacíos presentes. Conocer estos valores permitió el cálculo de las cantidades volumétricas de material necesarias para la fabricación de prismas y cruces, realizados en esta investigación.



Figura 8. Equipo utilizado para la determinación del peso unitario suelto y envarillado de la arena

2.2.4. *Mortero fresco*

2.2.4.1. *Medición de flujo (ASTM-1437)*

Esta prueba se realizó sobre el mortero fresco. En dicho ensayo se moldeó un espécimen de mortero en forma de cono truncado, el cual posee una altura de 5 cm con un diámetro superior de 7 cm y uno inferior de 10 cm. Una vez moldeado el espécimen, se dejó

caer el plato en 25 ocasiones y se midió cuánto se expandió la muestra inicial. Esta prueba ayuda a conocer la cantidad de agua que debe poseer la mezcla, con el fin de tener un mortero en un rango de $110\% \pm 5\%$.

Esta prueba permitió generar un dato de relación agua/cemento, el cual se utilizó para determinar el agua necesaria en la mezcla para obtener una trabajabilidad con el flujo que cumpla con el requisito que establece la norma. Este dato fue utilizado para las siguientes pruebas que se realizaron.



Figura 9. Medición de flujo

2.2.4.2. Resistencia a la compresión (ASTM C109)

Se moldearon cubos de 5 cm de arista, los cuales se curaron hasta el día de la falla. A los especímenes realizados se les midió la resistencia a edades de 7 y 28 días. Esta prueba fue realizada con los 16 morteros en estudio (de cada tipo de mortero se fabricaron 6 cubos, 3 para cada edad de falla). La dosificación utilizada para la fabricación de la mezcla, consistió en: 400 ml de cemento, 1200 ml de arena y 100 ml de cal en caso de mezclas clase A, y de 300 ml de cemento, 1200 ml de arena y 150 ml de cal para morteros clase B.

Cada uno de los cubos realizados, debía cumplir con los parámetros mínimos de resistencia propuestos en el Código Sísmico de Costa Rica 2010. Para su falla, se utilizó la maquina universal MTS o la SATEC.



Figura 10. Moldeado de los cubos de mortero, arena de río lavada

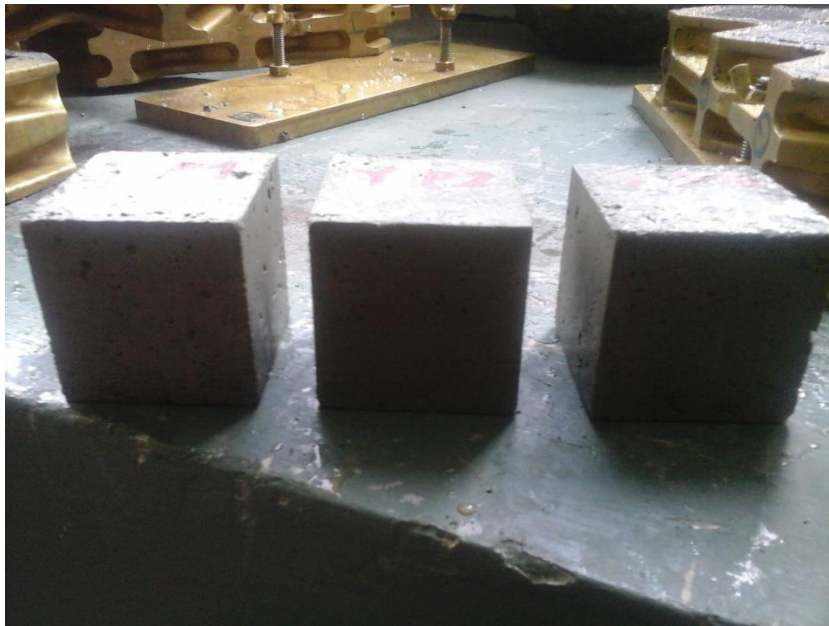


Figura 11. Cubos de mortero



Figura 12. Curado de los cubos de mortero



Figura 13. Falla de los cubos de mortero, equipo utilizado: SATEC

2.2.4.3. Contenido de aire (ASTM C185)

Esta prueba se realizó sobre un mortero fresco, en este caso el flujo debe oscilar entre $87,5\% \pm 7,5\%$, pero para este ensayo el plato de flujo se debía dejar en caer únicamente en 10 ocasiones. Utilizando el molde mostrado en la Figura 14 y teniendo en cuenta la relación agua/cemento que poseía la mezcla, fue posible encontrar el contenido de aire que contenía el mortero en estudio. Los materiales utilizados en la fabricación del mortero, deben ser antes caracterizados ya que sus gravedades específicas son necesarias en la fórmula a utilizar. La norma establece que el contenido de aire se debe mantener en un rango de 8%-19% de contenido de aire en la mezcla.



Figura 14. Equipo utilizado para la prueba de contenido de aire

Para esta prueba, se utilizó una dosificación de: 250 ml de cemento, 750 ml de arena y 62.5 ml de cal en el caso de morteros clase A. Para morteros clase B las proporciones utilizadas fueron: 200 ml de cemento, 800 ml de arena y 100 ml de cal.

2.2.4.4. *Retención de agua (ASTM C1506)*

Es posible conocer la retención de agua que posee un mortero, aplicando con la ayuda del equipo mostrado en la Figura 15 un vacío por un lapso de un minuto, la presión aplicada debe de ser de 53 ± 3 mm Hg (Se calibró el instrumento utilizando un Vacuómetro). Se realizó la prueba de flujo al mortero antes y después de la succión, mediante una relación de ambos resultados se obtuvo la capacidad de retención de agua del mortero. Según la norma, un mortero no debe poseer menos de un 75% de retención de agua.

Para esta prueba se utilizó una dosificación de: 250 ml de cemento, 750 ml de arena y 62.5 ml de cal en el caso de morteros clase A, y de 200 ml de cemento, 800 ml de arena y 100 ml de cal para mezclas clase B.



Figura 15. Equipo utilizado para el ensayo de retención de agua

2.2.5. *Bloques de concreto*

2.2.5.1. *Resistencia a la compresión, absorción y área neta (ASTM C140)*

Las características representativas de los bloques de concreto tales como: absorción, área neta y resistencia a la compresión, influirán directamente en el comportamiento que estos vayan a presentar en el elemento estructural. Es por esto, que se eligió una muestra de 6

bloques de pared simple y 6 bloques de pared doble. De la muestra seleccionada, la mitad de las probetas se destinaron para la prueba de resistencia a la compresión. Los bloques utilizados para esta prueba fueron previamente coronados. La otra mitad se destinó a la prueba de absorción y área neta, medidos antes de ser sumergidos.



Figura 16. Bloques de concreto coronados para la prueba de resistencia a la compresión simple

2.2.6. *Mampostería*

Tanto las cruces de mampostería como los prismas, a excepción de las mezclas utilizando arena industrial y arena de río lavada con cal de Cartago, fueron fabricados en el mismo lote de muestra. De esta manera se aseguró, que el mortero a utilizar en ambas pruebas fuera el mismo.

Durante la fabricación de estos especímenes, se tuvo un control permanente para asegurar condiciones igualitarias para cada probeta realizada. Además, se realizaron cubos de mortero para conocer la resistencia a compresión simple del mismo.

2.2.6.1. Resistencia a la compresión de prismas de mampostería (ASTM C1314)

El comportamiento que posee el bloque de concreto individualmente, no es el mismo que se presenta en primas de mampostería. En este estado, el bloque y el mortero funcionan como elemento estructural de mampostería, razón por la cual las propiedades que este elemento presente pueden variar en comparación a los elementos por separado. Se realizaron 3 probetas de cada mezcla (un total de 48 probetas fueron fabricadas), las cuales se fallaron a una edad de 28 días. Como método de curado, los prismas se mantuvieron como lo indica la norma, individualmente en bolsas desde el día en que fueron construidos hasta 48 horas antes de falla. Asimismo, fueron coronados con al menos con 5 días de anticipación al día de la falla.

En su totalidad, los prismas fueron sin relleno de concreto debido a que la característica deseada a medir era el comportamiento bloque-mortero, sin que ningún otro material aportará resistencia.



Figura 17. Falla de los prismas de mampostería

2.2.6.2. Adherencia (cruces de mampostería)

Otra de las características que se determinó de cada una de las mezclas realizadas durante la investigación, consistió en la capacidad de adherencia de la junta. Es decir, el esfuerzo a cortante que el elemento de mampostería era capaz de resistir.

Esta prueba no se encuentra normada, por lo cual se recurrió a investigaciones previas para determinar la configuración a utilizar (ver Figura 18). Este tipo de configuración era la más simple de construir y manipular en el momento de la falla. Fue necesario el uso de elementos de madera para brindar soporte al espécimen hasta que el mortero adquiriera un poco de resistencia. Sin embargo, estos elementos se mantuvieron en su posición inicial hasta el día de la falla.

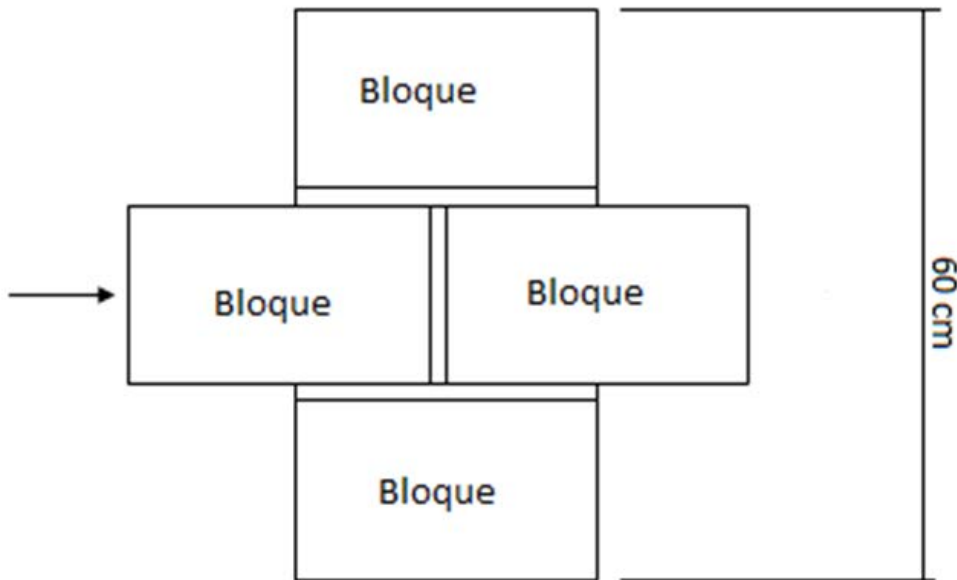


Figura 18. Configuración de la cruz de mampostería a utilizar

Como método de curado, las cruces de mampostería se mantuvieron bajo techo cubiertos con un mantado plástico, desde el día de la construcción hasta 48 horas antes de la falla. Además, durante las primeras 48 horas de fabricadas, las juntas fueron rociadas con agua dos veces al día (una vez por la mañana y otra por la tarde).

Se fabricaron en total 4 probetas de cada mezcla realizada (64 cruces de mampostería en total), las cuales fueron falladas a una edad de 28 días. Para la falla de estos especímenes, fue necesario realizar un montaje especial (ver Figura 19). La base móvil se colocó con el fin

de evitar esfuerzos de fricción causados por el peso del espécimen o debido al desplazamiento lateral que se generaba. La probeta fue fallada en forma horizontal, para simular de mejor manera la realidad fuerzas provocadas por sismos. Se colocó en el centro de la muestra un extensómetro, el cual permitió conocer el desplazamiento relativo del bloque con respecto a la carga que estaba siendo aplicada.



Figura 19. Montaje realizado para la falla de las cruces de mampostería



Figura 20. Construcción de cruces de mampostería, ejemplificación de los elementos de madera utilizados

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1. Cal

Teniendo como guía el trabajo final de graduación de Acón (2014), se eligieron las tres cales con las que se trabajó a lo largo del proyecto de investigación. Con base en los resultados de granulometría y análisis químico, se eligió una cal con buenas características, una de características promedio y una con propiedades deficientes. Las cales con las que se trabajó, son provenientes de las siguientes fuentes de cal: Industrias de Calcio (Guanacaste), Roy Villalobos (Desamparados) y Alvarado (Cartago).

3.1.1. Granulometría

A continuación, se muestra un cuadro con el resultado de la granulometría de las cales trabajadas en esta investigación:

Cuadro 6. Resultados de granulometría a las tres cales utilizadas en la investigación

Cal	%Retenido			%Pasando	
	Malla 30	Cumple ASTM C110	Malla 200	Malla 30	Malla 200
Cal 1 Cal Guanacaste	0,42	Cumple	2,44	99,58	97,14
Cal 2 Cal Desamparados	14,47	No Cumple	10,82	85,53	74,71
Cal 3 Cal Cartago	21,62	No Cumple	23,28	78,38	55,10

Fuente: Autora, 2016

Según la norma ASTM C110, el valor máximo permitido retenido en la malla 30 en cales que serán destinadas a la fabricación de mortero de pega de bloques de mampostería es de 0,5%. Como se muestra en el Cuadro 6, únicamente la cal 1 cumple con la norma, las otras dos superan en más de un 10% este parámetro. Por este motivo, dichas cales no podrían ser consideradas aptas para mortero.

3.1.2. Pruebas químicas

Se le realizaron pruebas químicas a cada una de las cales, con el fin de determinar la cantidad de: hidróxido de calcio Ca(OH)_2 , hidróxido de magnesio Mg(OH)_2 y dióxido de carbono CO_2 , que componen cada una de las cales con las que se trabajó.

Cuadro 7. Resultados de las pruebas químicas realizadas a las 3 cales utilizadas durante la investigación

Cal Analizada	Compuesto Químico					
	Hidróxido de Calcio	Hidróxido de magnesio	$\text{Ca(OH)}_2 + \text{Mg(OH)}_2$	Cumple ASTM C207	Dióxido de Carbono	Cumple ASTM C207
Cal 1 Cal Guanacaste	93,75%	1,03%	94,78%	No cumple	1,43%	Cumple
Cal 2 Cal Desamparados	79,10%	2,03%	81,13%	No cumple	6,62%	No cumple
Cal 3 Cal Cartago	32,65%	2,56%	35,21%	No cumple	33,69%	No cumple

Fuente: Autora, 2016

De acuerdo con la norma ASTM C207, la suma del porcentaje de hidróxido de calcio y el porcentaje de hidróxido de magnesio debe de ser al menos un 95%. Como se evidencia en el Cuadro 7, ninguna de las cales estudiadas alcanzó este valor. Sin embargo, la cal 1 con un 94,8% fue la más cercana a cumplir con la norma.

En el caso del dióxido de carbono, la norma establece que una cal apta debe poseer menos de un 5% de este compuesto químico. La cal 1 fue la única que cumplió con este valor, mientras que las otras lo superaron. En el caso de la cal 2, se sobrepasó el parámetro de manera significativa (33,7% de CO_2).

3.2. Agregado Fino

En la investigación se trabajó con dos tipos de arena: arena de río lavada y arena industrial, ambas arenas provenientes de la zona de Guápiles. Se les realizaron pruebas básicas para su caracterización: granulometría, gravedad específica y peso unitario. En el caso de la arena de río, se le realizó también la prueba de contenido de materia orgánica.

3.2.1. Granulometría

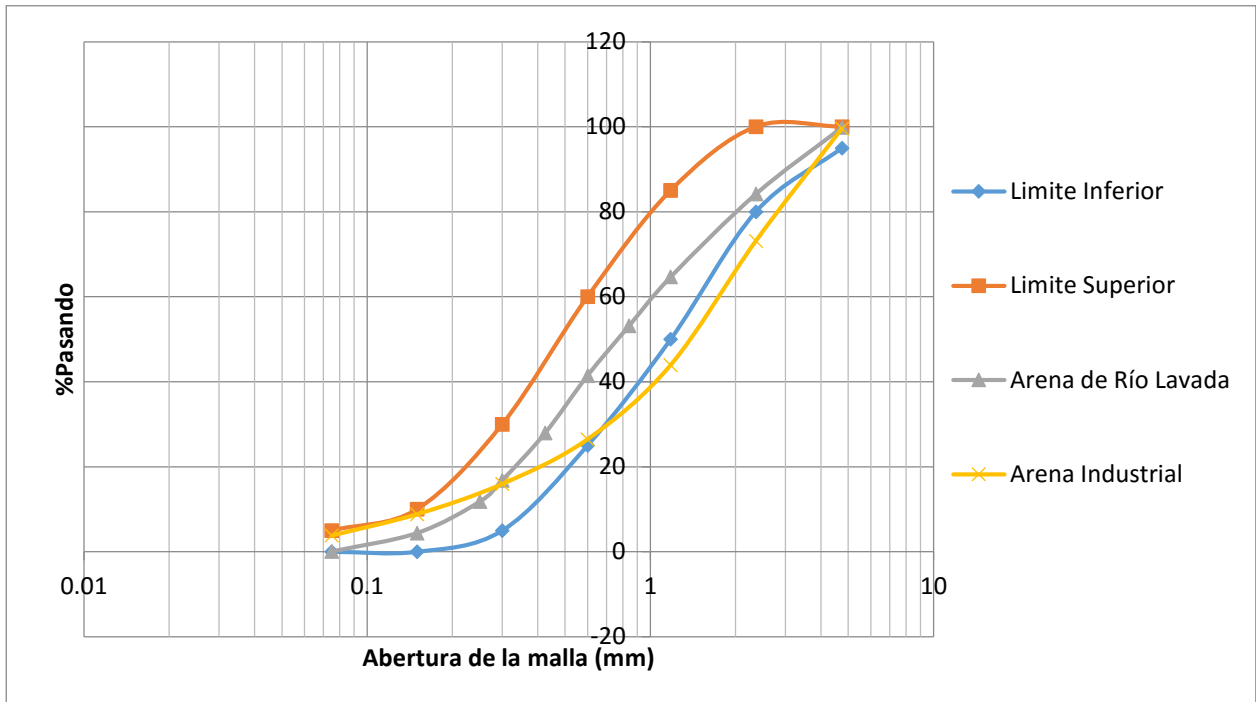


Figura 21. Granulometría de las arenas estudiadas

Mediante las curvas granulométricas, es posible observar que la arena de río lavada cumple con los parámetros establecidos en la norma ASTM C136 en cada una de las mallas estudiadas. Si bien, la norma establece límites de 0% a 5% del material estudiado pasando la malla 200 luego de que este sea previamente lavado, se debe cumplir de igual manera con el porcentaje de finos. Se establece que una arena apta para utilizarse en la fabricación de mortero, debe al menos contener un 5% de finos. La arena de río lavada, presenta un 3.02% incumpliendo de esta manera la norma y evidenciando un importante déficit de finos.

En cuanto a la curva granulométrica de la arena industrial, presenta incumplimiento de la norma ASTM C136 en las mallas entre #8 y la #16, déficit observado en la Figura 21. Dicha curva granulométrica, evidencia que la arena industrial es un material que contiene partículas finas en su mayoría. En cuanto a la cantidad de finos que posee esta arena, contiene un 13,72% de finos cumpliendo ampliamente con la norma.

Estas dos arenas permitirán conocer en si la arena es un factor determinante en el comportamiento del mortero en estado fresco y endurecido. La comparación entre arenas se podrá establecer, siempre y cuando no existan variaciones en el resto de los materiales. Se

podrán establecer similitudes o diferencias, entre una arena que contiene pocos finos y otra con una cantidad de finos considerables y compuesta mayormente por partículas finas.

Los cuadros correspondientes al análisis granulométrico, así como demás propiedades obtenidas para cada una de las arenas se presentan en el apéndice B.

3.3. Unidades de mampostería

3.3.1. Resistencia a la compresión simple (f'_m) y área neta

Durante la investigación, se utilizaron bloques clase A de la empresa Productos de Concreto, de pared sencilla así como de pared doble.

Los bloques de concreto clase A, según el Código Sísmico de Costa Rica 2010, deben poseer como mínimo una resistencia a la compresión de al menos 100 kg/cm².

Cuadro 8. Resultados de compresión simple de bloques de concreto sencillos

N° muestra	Falla (kN)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Cumple ASTM
C-1	324,5	123,60	Cumple
C-2	402,6	153,35	Cumple
C-3	399,2	152,06	Cumple
C-4	482,8	183,90	Cumple
C-5	475,85	181,26	Cumple
C-6	587,75	223,88	Cumple
Promedio	445,45	169,68	Cumple

Cuadro 9. Resultados de compresión simple de bloques de pared doble

N° muestra	Falla (KN)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Cumple ASTM
C-1	474,70	165,22	Cumple
C-2	498,60	173,54	Cumple
C-3	562,40	195,74	Cumple
Promedio	511,90	178,17	Cumple

Tanto los bloques de concreto de pared simple como los de pared doble, cumplieron ampliamente con el límite propuesto por el Código. La menor resistencia obtenida fue de 123,6 kg/cm², mientras que la mayor fue de 223,88 kg/cm².

Además de la prueba de compresión simple, se calculó el área neta promedio para cada uno de los tipos de bloque utilizados. En el caso del bloque de pared simple, se obtuvo un área neta de 267,71 cm², mientras que para el bloque de pared doble un área neta de 293 cm². Para el cálculo del esfuerzo a cortante en cruces de mampostería, se utilizó un área neta de 238,29 cm² debido a que se utilizó sólo el área expuesta al esfuerzo.

3.4. Pruebas al mortero en estado fresco

3.4.1. Contenido de aire

En cuanto al contenido de aire, la norma ASTM C185 establece que un mortero que vaya a ser utilizado para la pega de bloques de mampostería debe poseer como máximo un 7% de contenido de aire.

Cuadro 10. Contenido de Aire promedio en los morteros fabricados con arena de río lavada

	Mortero	Contenido de Aire Promedio	Cumple ASTM C 185	%Variación con respecto al mortero sin cal
Clase A	Sin Cal	4,07 %	Cumple	
	Cal 1/Cal Guanacaste	4,27 %	Cumple	0,20 %
	Cal 2/Cal Desamparados	3,98 %	Cumple	-0,09 %
	Cal 3/Cal Cartago	3,44 %	Cumple	-0,63 %
	Promedio	3,94 %	Cumple	-0,13 %
Clase B	Sin Cal	4,55 %	Cumple	
	Cal 1/Cal Guanacaste	3,35 %	Cumple	-1,20 %
	Cal 2/Cal Desamparados	4,01 %	Cumple	-0,54 %
	Cal 3/Cal Cartago	3,40 %	Cumple	-1,15 %
	Promedio	3,83 %	Cumple	-0,72 %

Cuadro 11. Contenido de Aire promedio en los morteros fabricados con arena industrial

	Mortero	Contenido de Aire Promedio	Cumple ASTM C 185	%Variación con respecto al mortero sin cal
Clase A	Sin Cal	3,61 %	Cumple	
	Cal 1/Cal Guanacaste	2,43 %	Cumple	-1,18 %
	Cal 2/Cal Desamparados	2,07 %	Cumple	-1,55 %
	Cal 3/Cal Cartago	2,42 %	Cumple	-1,19 %
	Promedio	2,63 %	Cumple	-0,98 %
Clase B	Sin Cal	2,62 %	Cumple	
	Cal 1/Cal Guanacaste	1,83 %	Cumple	-0,79 %
	Cal 2/Cal Desamparados	2,47 %	Cumple	-0,15 %
	Cal 3/Cal Cartago	1,49 %	Cumple	-1,14 %
	Promedio	2,10 %	Cumple	-0,52 %

Como es posible observar en el Cuadro 10 y Cuadro 11, todas las pruebas realizadas cumplen con el parámetro establecido en la norma. Sin embargo, debido a los resultados obtenidos por separado para cada una de las arenas, no es posible obtener una tendencia clara entre cales o bien entre clase A y clase B.

El mortero preparado con arena de río lavada sin cal, fue la muestra que presentó un contenido de aire mayor con un 4,55%. Mientras que, el mortero que obtuvo un contenido de aire menor fue el fabricado con arena industrial clase B con cal de Cartago, con un 1,49%. En general, el contenido de aire que se presenta en los morteros fabricados con arena industrial es menor al obtenido en los morteros elaborados con arena de río lavada. Esta tendencia puede ser producto de las granulometrías respectivas de cada una de las arenas. Tomando en cuenta que, la arena de río lavada posee partículas de mayor tamaño que la arena industrial, el acomodo del material dentro de la mezcla podría generar una cantidad de vacíos mayor.

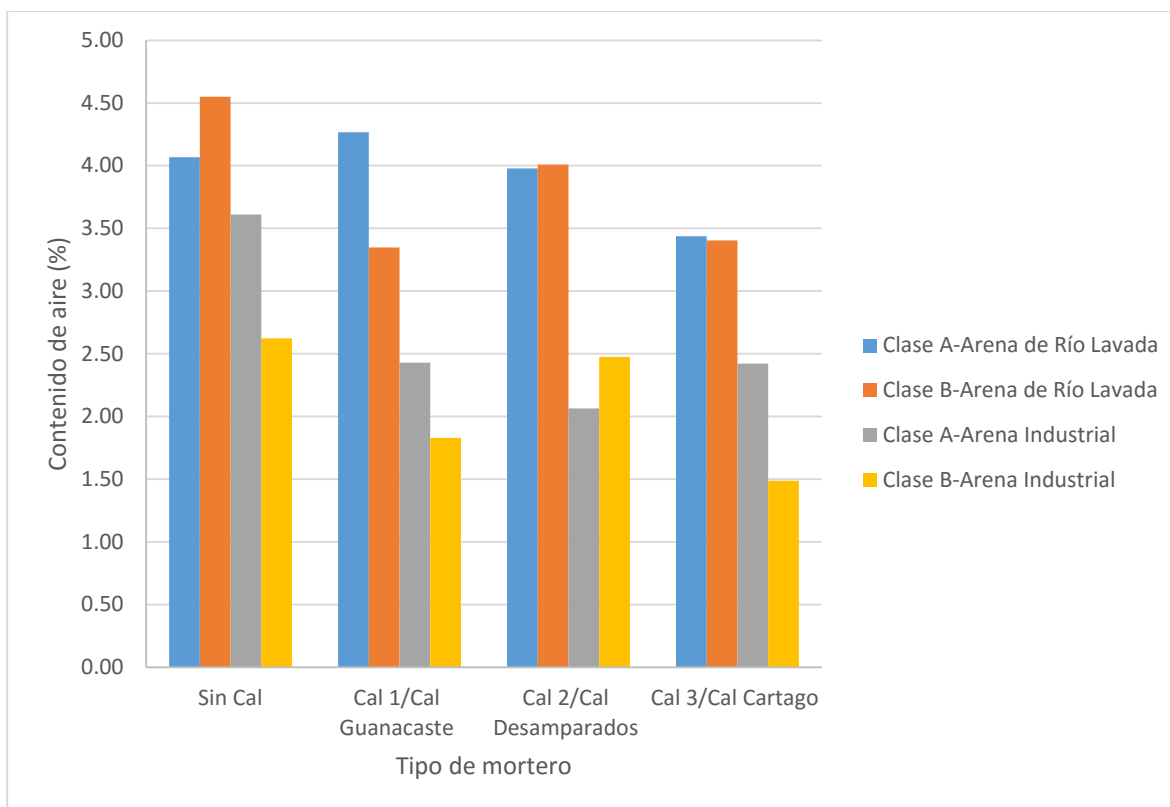


Figura 22. Comparación de los resultados de contenido de aire

Se pudo determinar que, a excepción del resultado obtenido al realizar el mortero con arena de río lavada y cal de Guanacaste, todas las demás muestras tendieron a disminuir el contenido de aire cuando se utilizó cal en su fabricación. No es posible obtener una tendencia clara entre resultados de morteros clase A y morteros clase B, pero se podría establecer basándose en la Figura 22 que los morteros clase A son propensos a presentar contenidos de aire superiores a los morteros clase B.

Cuadro 12. Resultados de la prueba t-student para contenido de aire

Mortero		Valor de P para una distribución de 2 colas		
		Arena de río lavada sin cal vs cal	Arena industrial sin cal vs cal	Arena de río lavada vs arena industrial
Clase A	Sin cal			0,82
	Cal 1/Cal Guanacaste	0,82	0,31	0,11
	Cal 2/Cal Desamparados	0,84	0,21	0,24
	Cal 3/Cal Cartago	0,21	0,08	0,56
	Sin cal			0,37

Clase B	Cal 1/Cal Guanacaste	0,33	0,57	0,17
	Cal 2/Cal Desamparados	0,25	0,84	0,34
	Cal 3/Cal Cartago	0,34	0,46	0,29

Se aplicó la prueba T-student para determinar si, estadísticamente existen diferencias significativas en los morteros realizados. Se realizó la comparación en cada una de las arenas, entre cada una de las clases de mortero, teniendo como patrón un mortero sin cal. Además, se realizó el análisis entre arena de río lavada y arena industrial para cada uno de los tipos de morteros fabricados. Se observa en el Cuadro 12 que en ninguna de las comparaciones realizadas se presentan diferencias significativas (todas las probabilidades fueron superiores a 0,05).

3.4.2. Retención de agua

En la norma ASTM C1506 se establece que, un mortero que vaya a ser utilizado para la pega de bloques de mampostería debe poseer como mínimo un 75% de retención de agua.

Cuadro 13. Retención de agua promedio de los morteros fabricados con arena de río lavada

	Mortero	Retención de agua Promedio	Cumple ASTM	%Variación con respecto a la norma	%Variación con respecto a un mortero sin cal
Clase A	Sin cal	64,32%	No cumple	-10,68%	
	Cal 1/Cal Guanacaste	76,54%	Cumple	1,54%	12,23%
	Cal 2/Cal Desamparados	72,52%	No cumple	-2,48%	8,20%
	Cal 3/Cal Cartago	71,85%	No cumple	-3,15%	7,53%
	Promedio	71,31%	No cumple	-3,69%	6,99%
Clase B	Sin cal	69,88%	No cumple	-5,12%	
	Cal 1/Cal Guanacaste	72,38%	No cumple	-2,62%	2,51%
	Cal 2/Cal Desamparados	73,35%	No cumple	-1,65%	3,48%
	Cal 3/Cal Cartago	77,51%	Cumple	2,51%	7,63%
	Promedio	73,28%	No cumple	-1,72%	3,40%

Cuadro 14. Retención de agua promedio de los morteros fabricados con arena industrial

	Mortero	Retención de agua Promedio	Cumple ASTM	%Variación con respecto a la norma	%Variación con respecto a un mortero sin cal
Clase A	Sin cal	54,86%	No cumple	-20,14%	
	Cal 1/Cal Guanacaste	89,37%	Cumple	14,37%	25,05%
	Cal 2/Cal Desamparados	89,90%	Cumple	14,90%	25,58%
	Cal 3/Cal Cartago	86,96%	Cumple	11,96%	22,64%
	Promedio	80,27%	Cumple	5,27%	15,95%
Clase B	Sin cal	58,98%	No cumple	-16,03%	
	Cal 1/Cal Guanacaste	88,15%	Cumple	13,15%	18,28%
	Cal 2/Cal Desamparados	86,63%	Cumple	11,63%	16,75%
	Cal 3/Cal Cartago	81,49%	Cumple	6,49%	11,61%
	Promedio	78,81%	Cumple	3,81%	8,94%

Como es posible observar en el Cuadro 13, exceptuando el mortero clase A fabricado con cal de Guanacaste y el mortero clase B con cal de Cartago, los resultados de retención de agua incumplen la norma. Si se comparan los resultados con el límite propuesto en la norma, se observa que el mortero sin cal dista, en el caso de clase A en un 10,7% y en caso de clase B en un 5,12% del valor esperado, pero los morteros que contienen cal presentan varianzas menores (máximo un 3,2%). Por esta razón, se obtiene la tendencia clara que un mortero que contenga cal presente una retención de agua mayor de uno que no la contenga. Así bien, es posible determinar que los morteros clase A presentan mejores resultados de capacidad de retención de agua que la clase B. En el caso de morteros clase A, las mejoras se encuentran en un rango de 7,5%-12%, mientras que los morteros clase B en un rango de 2,5%-7,6%.

En el Cuadro 14, correspondiente a las pruebas realizadas utilizando arena industrial, a excepción de los morteros que no poseen cal, todos los demás cumplen de manera amplia la norma. Los morteros sin cal no cumplen la norma por 20,14% y 16,03%, correspondientes respectivamente a mortero clase A y clase B. Mientras que en los morteros con cal se obtiene mejoras que se encuentran entre 6,5%-15%, siendo el 6,5% un mortero fabricado con cal de Cartago y el 15% a uno elaborado con cal de Desamparados. Por lo cual, es posible determinar la tendencia de que un mortero con cal mejora significativamente la retención de agua. Esto está respaldado en las variaciones obtenidas al compararlo con un mortero sin cal, en el caso de clase A con mejoras de mínimo un 22%, y en clase B de al menos un 12%.

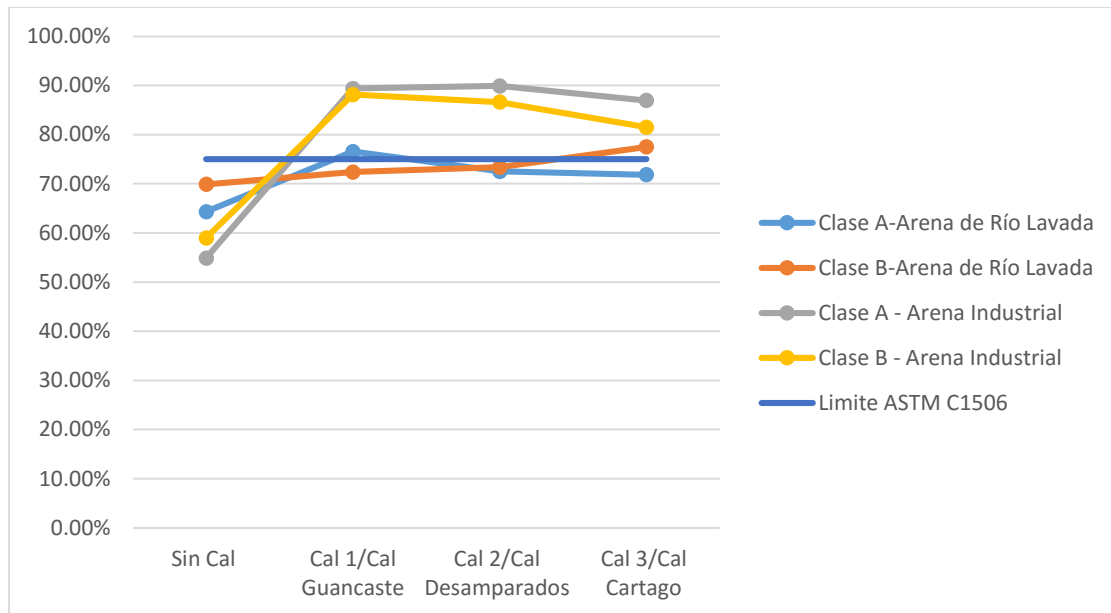


Figura 23. Variación de la retención de agua de la arena de río lavada y la arena industrial

En la Figura 23, se realizó una comparación tanto entre las arenas como entre clases de mortero (clase A y clase B). En todos los casos los morteros con cal mejoraron la retención de agua, pero es posible determinar que el aumento que se da en la arena industrial en ambas clases es mucho mayor al que se presenta en los morteros fabricados con arena de río lavada. Así bien, los morteros fabricados con cal y arena industrial cumplieron ampliamente con el parámetro ASTM. Por el contrario, los morteros elaborados con cal y arena de río lavada no presentaron aumentos tan altos, y se vio que la norma se cumplió por poco o no se cumplió del todo.

Se logró establecer una tendencia de mejora entre las cales, aquella que generó mejores resultados es la cal de Guanacaste (siendo esta la que presentó mejores propiedades), seguida por la Desamparados y por último la de Cartago (propiedades más desfavorables). Esta tendencia estuvo presente en 3 de las 4 variaciones estudiadas, ya que en los morteros clase B con arena de río lavada la tendencia se dio de manera contraria.

Al igual que en contenido de aire, se aplicó la prueba de t-student para determinar si los cambios que se midieron producto del uso de la cal estadísticamente resultan significativos o no. Serán significativos aquellos que presentaron una probabilidad menor al 0,05.

Cuadro 15. Resultados de la prueba t-student para retención de agua

Mortero	Arena de río lavada sin cal vs con cal	Arena industrial sin sal vs con cal	Arena de río lavada vs arena industrial
Sin cal			0,071
Cal 1/Cal Guanacaste	0,036	0,004	0,097
Cal 2/Cal Desamparados	0,077	0,039	0,077
Cal 3/Cal Cartago	0,131	0,026	0,162
Sin cal			0,045
Cal 1/Cal Guanacaste	0,051	0,019	0,057
Cal 2/Cal Desamparados	0,272	0,028	0,054
Cal 3/Cal Cartago	0,003	0,067	0,429

De acuerdo a las probabilidades obtenidas, es posible determinar que en el caso de arena de río lavada los morteros que presentan diferencias significativas son aquellos que cumplieron con la norma (Clase A utilizando cal de Guanacaste y Clase B utilizando cal de Cartago), para todos los demás casos no se presentan diferencias significativas. En cuanto a la arena industrial, en todos los casos se obtiene diferencias significativas en cuanto a la variación positiva que se generó en la capacidad de retención de agua. Comparando la arena de río con la arena industrial, en el único caso que se presentan diferencias significativas es en el caso de clase B sin cal, en el resto como se presentan tendencias similares en todos los casos no se presentan diferencias significativas.

3.5. Pruebas al mortero en estado endurecido

3.5.1. Resistencia a la compresión simple

En el Código Sísmico de Costa Rica 2010 en el apéndice A en la sección A.1.4, establece que un mortero Clase A a los 28 días debe poseer una resistencia compresión simple medida en cubos, de mínimo 175 kg/cm². Mientras que, para clase B debe ser como mínimo 126 kg/cm². Se realizaron ensayos en cubos de 5 cm de arista, a edades de 7 y 28 días con el fin de lograr medir el desarrollo de resistencia que se presentó en cada uno de los morteros en estudio.

De igual manera, en la norma ASTM C109 se establece rangos a cumplir para determinar la validez de cada una de las pruebas. También, brinda herramientas para eliminar

datos que no se acoplen a la tendencia esperada. Los datos que fueron utilizados, así como eliminados del análisis se muestran en el apéndice E.

Cuadro 16. Resistencia promedio a la compresión en simple en morteros fabricados con arena de río lavada

Muestra	Clase A			Clase B		
	Esfuerzo promedio (kg/cm ²)		Cumple ASTM	Esfuerzo promedio (kg/cm ²)		Cumple ASTM
	7 días	28 días		7 días	28 días	
Sin cal	169,56	273,71	Cumple	80,72	147,90	Cumple
Cal 1/Cal Guanacaste	161,94	271,83	Cumple	93,20	161,74	Cumple
Cal 2/Cal Desamparados	128,30	229,70	Cumple	69,32	141,35	Cumple
Cal 3/Cal Cartago	134,56	222,83	Cumple	48,93	100,58	No cumple

Cuadro 17. Resistencia promedio a la compresión simple en morteros fabricados con arena industrial

Muestra	Clase A			Clase B		
	Esfuerzo promedio (kg/cm ²)		Cumple ASTM	Esfuerzo promedio (kg/cm ²)		Cumple ASTM
	7 días	28 días		7 días	28 días	
Sin cal	142,18	267,02	Cumple	81,85	127,48	Cumple
Cal 1/Cal Guanacaste	138,63	252,94	Cumple	59,15	116,96	No cumple
Cal 2/Cal Desamparados	153,58	248,52	Cumple	50,15	113,95	No cumple
Cal 3/Cal Cartago	98,67	167,86	No cumple	52,00	112,42	No cumple

De acuerdo con lo establecido anteriormente, los morteros clase A con arena de río lavada cumplieron con el límite establecido en todos los casos. Sin embargo, para arena industrial el único que no cumplió el límite fue el que se fabricó con cal de Cartago. Si bien, este mortero no alcanzó el parámetro establecido, logró desarrollar un 95,92% de resistencia esperada a los 28 días. En cuanto a los morteros clase B elaborados con arena de río lavada, el mortero fabricado con cal de Cartago fue el único que no alcanzó la resistencia esperada, alcanzando un 79,83% de esta.

En cuanto a los resultados obtenidos en las pruebas de arena industrial, únicamente el mortero fabricado sin cal cumplió con el límite. El mortero en que se utilizó cal de Guanacaste se alcanzó un 92,83% de la resistencia, con cal de Desamparados un 90,44% y con cal de Cartago un 89,22%.

Es posible basándose en lo anterior, definir que un mortero clase A es más propenso a alcanzar y sobrepasar en la mayoría de los casos la resistencia esperada. Mientras que, los morteros clase B desarrollan esta resistencia de manera más lenta e inclusive son propensos a que exista un déficit de hasta un 10% de resistencia.

Los gráficos correspondientes al desarrollo de resistencia a la compresión simple de cada uno de los morteros se encuentran en el apéndice E, pero como era de esperar cada uno de ellos presentó la tendencia de aumentar conforme la edad de falla era mayor.

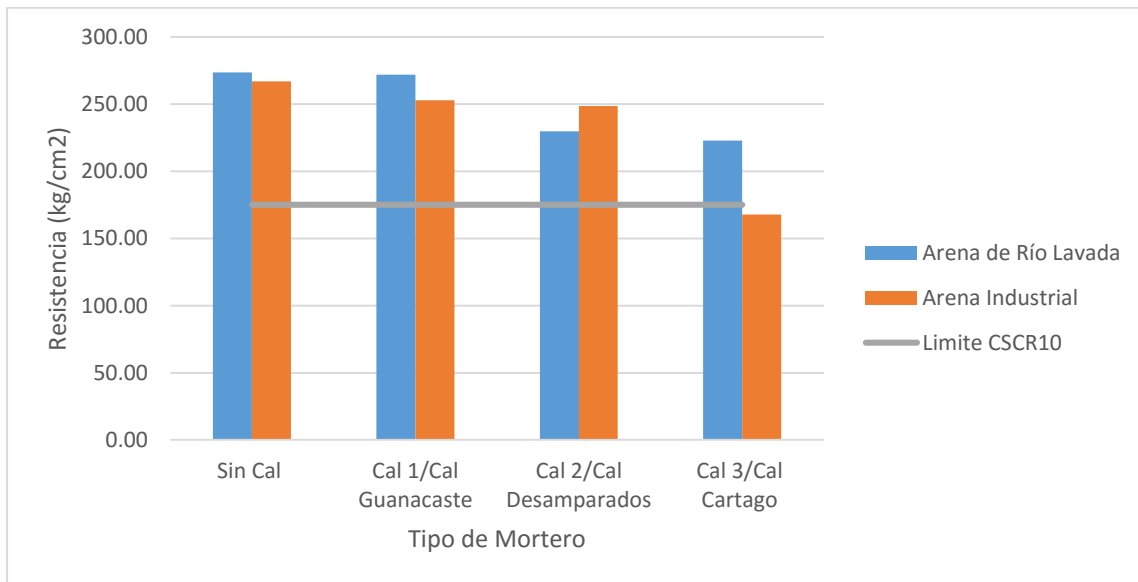


Figura 24. Resistencias promedio a la compresión simple de los morteros clase A

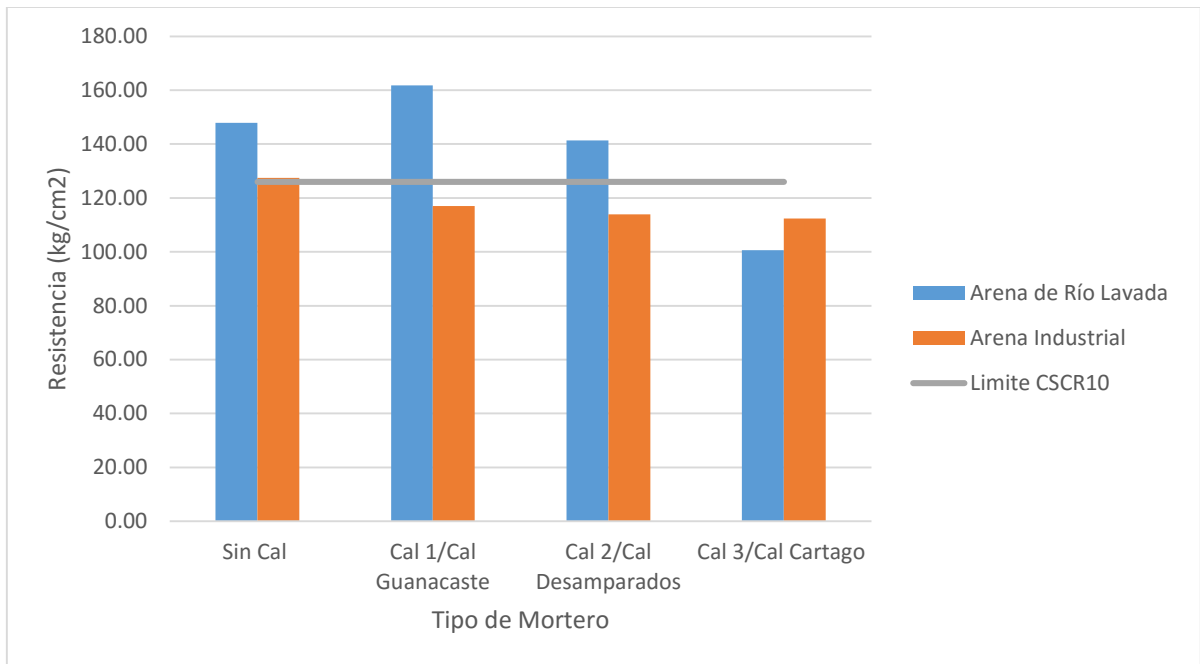


Figura 25. Resistencias promedio a la compresión simple de los morteros clase B

En la Figura 24 y Figura 25, es posible realizar una comparación entre las arenas. En la mayoría de los casos se presenta mayor resistencia en morteros fabricados con arena de río lavada. Si bien se encuentra esta tendencia, en morteros clase A se presentan resistencias muy similares entre arenas, mientras que en clase B se presentan varianzas mayores. La densidad de los cubos en ambas arenas fue muy similar (densidades presentadas en el apéndice E); por tanto, estos resultados superiores encontrados de una arena a otra, podrían ser causada por la rugosidad de las partículas que la componen. Se le atribuye este aumento a la forma y textura, debido a que una arena que posee partículas redondeadas y lisas generará un mejor anclaje mecánico entre la pasta y dichas partículas. Permitiendo de esta manera, que se genere una mejor cohesión y adherencia, ocasionando indirectamente resistencias a la compresión simple superiores.

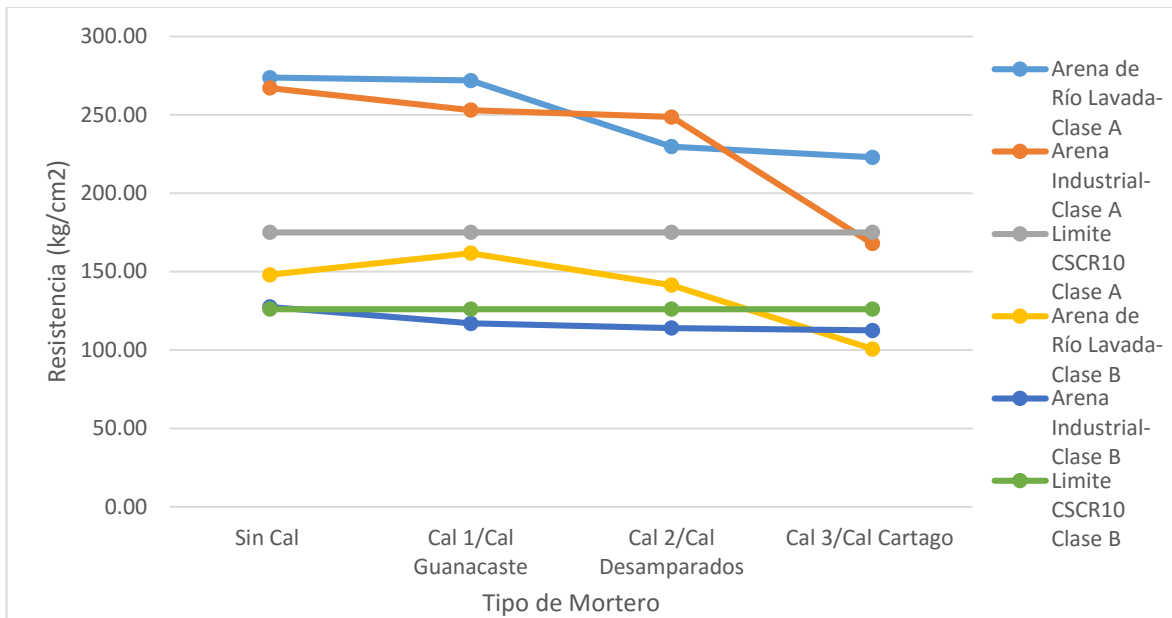


Figura 26. Comparación de resistencias a la compresión de arenas y cales utilizadas

Ahora tomando en cuenta el papel de la cal, es posible observar en la Figura 26 que al utilizar cal la resistencia desciende, a excepción del mortero clase B con arena de río lavada y cal de Guanacaste. En algunos casos, este descenso es de hasta 100 kg/cm² en comparación con un mortero sin cal (mortero clase A/arena de río lavada/cal Cartago). Por lo tanto, es posible establecer que se encuentra una tendencia clara a que, con el uso de cal se generó un descenso en la resistencia del mortero. En cuanto a un análisis de resultados entre las cales, se obtuvieron mejores resultados cuando se utilizó cal de Guanacaste, seguido por la cal de Desamparados, y por último presentando los peores resultados en todos los casos la cal de Cartago.

3.5.2. Resistencia a la compresión de la mampostería f'_m (Prismas de mampostería)

Con el fin de medir la resistencia a la compresión del mortero cuando este forma parte de una estructura de mampostería, se fabricaron probetas que estuvieron compuestas de dos bloques, uno sobre otro. De cada tipo de mortero a analizar se construyeron 3 especímenes, los cuales se fallaron a una edad de 28 días.

Según lo establecido en el Código Sísmico de Costa Rica, para mampostería Clase A se espera que se presente como mínimo 100 kg/cm² de resistencia a la compresión simple, mientras que para mampostería clase B una resistencia mínima de 70 kg/cm².

Cuadro 18. Resistencia promedio de compresión simple de la mampostería, mortero fabricado con arena de río lavada

Mortero		Resistencia promedio (kg/cm ²)	Cumple CSCR10	%Resistencia desarrollada	Variación con respecto a la norma (kg/cm ²)	Variación con respecto a un mortero sin cal (kg/cm ²)
Clase A	Sin cal	90,9	No cumple	90,88%	-9,1	
	Cal 1 Cal Guanacaste	83,8	No cumple	83,84%	-16,2	-7,0
	Cal 2 Cal Desamparados	78,0	No cumple	78,05%	-22,0	-12,8
	Cal 3 Cal Cartago	82,6	No cumple	82,56%	-17,4	-8,3
Clase B	Sin cal	90,6	Cumple	129,38%	20,6	
	Cal 1 Cal Guanacaste	76,1	Cumple	108,78%	6,1	-14,4
	Cal 2 Cal Desamparados	43,5	No cumple	62,14%	-26,1	-47,1
	Cal 3 Cal Cartago	69,3	No cumple	99,00%	-0,7	-21,3

Cuadro 19. Resistencia promedio a la compresión simple del mortero utilizado en prismas de mampostería fabricados con arena de río lavada medida en cubos de mortero

	Clase A			Clase B		
	Flujo	Resistencia en compresión (kg/cm ²)	Cumple CSCR2010	Flujo	Resistencia en compresión (kg/cm ²)	Cumple CSCR2010
Sin Cal	133.00	153,63	No cumple	118,5	78,86	No cumple
Cal 1 Cal Guanacaste	114.5	144,12	No cumple	118	77,50	No cumple
Cal 2/Cal Desamparados	132.5	99,25	No cumple	126,5	80,22	No cumple
Cal 3/Cal Cartago	119.5	141,75	No cumple	119,5	70,70	No cumple

En los morteros fabricados con arena de río lavada, los resultados no fueron favorables en cuanto a resistencia. En el caso de morteros clase A, ninguno de ellos cumplió con el requisito establecido, presentando como mínimo un desarrollo de resistencia de 78% y como

máximo 90,88%. Si bien, las variaciones con respecto al límite no son muy grandes se esperaría que a esa edad de falla se sobrepasará el límite, debido a que tanto los bloques como la dosificación del mortero corresponden a clase A. En cuanto al uso de cal en los morteros, aunque no se logró establecer una tendencia clara en cuanto al uso de una u otra cal, se presentó el comportamiento general que el uso de este material generó que las resistencias descendieran.

Para que un sistema estructural pueda ser considerado mampostería clase B, de acuerdo al Código Sísmico de Costa Rica los bloques de concreto y el mortero de pega, deben ser como mínimo clase A o clase B. En el caso de arena de río lavada, dos de los morteros estudiados cumplen con el límite impuesto por el código. Aquellos que no cumplen, tuvieron una variación importante entre los resultados de los mismos, en el caso de Desamparados se dio un desarrollo de resistencia de 62,14%, mientras que en Cartago se desarrolló un 99% de la resistencia. Al igual que en morteros clase A, se presenta la tendencia a que la resistencia sea menor cuando se utiliza cal para la elaboración del mortero.

Se le realizaron pruebas al mortero y cómo es posible ver en el

Cuadro 19, ninguno de los morteros cumplió con las resistencias mínimas esperadas. Todos los morteros en estudio incumplieron con el flujo ($110\% \pm 5\%$), por lo cual el déficit de resistencia en la mampostería podría ser causada por el exceso de agua que contiene la mezcla. Este exceso de agua, se debe a que era necesaria esa cantidad para que la mezcla resultará trabajable para el albañil.

Cuadro 20. Resistencia promedio de compresión simple de la mampostería, mortero fabricado con arena industrial

Mortero		Resistencia promedio (kg/cm ²)	Cumple CSCR10	%Resistencia desarrollada	Variación con respecto a la norma (kg/cm ²)	Variación con respecto a un mortero sin cal (kg/cm ²)
Clase A	Sin cal	106,0	Cumple	105,99%	6,0	
	Cal 1 Cal Guanacaste	99,2	No cumple	99,17%	-0,8	-6,8
	Cal 2 Cal Desamparados	89,4	No cumple	89,40%	-10,6	-16,6
	Cal 3 Cal Cartago	141,5	Cumple	141,51%	41,5	35,5
Clase B	Sin cal	86,7	Cumple	123,84%	16,7	
	Cal 1 Cal Guanacaste	96,9	Cumple	138,45%	26,9	10,2

Cal 2 Cal Desamparados	108,5	Cumple	154,95%	38,5	21,8
Cal 3 Cal Cartago	88,8	Cumple	126,85%	18,8	2,1

Cuadro 21. Resistencia promedio a la compresión simple del mortero utilizado en prismas de mampostería fabricados con arena industrial medida en cubos de mortero

	Clase A			Clase B		
	Flujo	Resistencia en compresión (kg/cm ²)	Cumple CSCR2010	Flujo	Resistencia en compresión (kg/cm ²)	Cumple CSCR2010
Sin cal	107	180,83	Cumple	105,5	134,60	Cumple
Cal 1 Cal Guanacaste	105,5	194,42	Cumple	100	126,44	Cumple
Cal 2/Cal Desamparados	131,5	127,80	No cumple	115	121,00	No cumple
Cal 3/Cal Cartago	118,5	180,50	Cumple	113,5	115,57	No cumple

En las pruebas a mampostería clase A con arena industrial, se obtuvieron resultados positivos. En dos casos se alcanzó y sobrepasó la resistencia esperada: sin cal y con cal de Cartago, obteniendo desarrollos de resistencia de 106% y 142% respectivamente. En los casos restantes, la resistencia no fue alcanzada. Sin embargo, las variaciones que presentaron fueron pequeñas, alcanzando como mínimo un 89% de resistencia. El caso del mortero fabricado con cal de Desamparados, se presentó la particularidad que para su fabricación fue necesaria una cantidad considerable de agua. Por tanto, el flujo no se cumplió, este exceso de agua pudo haber sido el causante del descenso de la resistencia.

Como se ha venido observando, en las demás pruebas de compresión realizadas las cales generaban un descenso en la resistencia de los morteros. Pero en los resultados clase A de arena industrial, se presentó la particularidad que aquel mortero que obtuvo la mayor resistencia aún sin cumplir con el flujo requerido (118,5%), correspondía a un mortero fabricado con cal de Cartago. En los morteros fabricados con cal de Guanacaste y Desamparados, se mantuvo la tendencia de un descenso de resistencia en comparación con un mortero sin cal.

En cuanto a los morteros clase B, todos cumplieron con el requisito de resistencia establecida. En este caso, como mínimo se obtuvo un desarrollo de resistencia de 124%. Algunos de los morteros al analizarlos en cubos de mortero no cumplieron con la especificación,

al realizar el elemento de mampostería con bloques de concreto clase A, se logró llegar a la especificación establecida para mampostería clase B.

Los morteros clase B con arena industrial, presentaron una tendencia contraria a la que se había presentado hasta el momento. La presencia de cal hizo que, en todos los casos se diera un aumento en la resistencia, la mejora va desde un 2,4% (Cal de Cartago) a un 25,14% (Cal de Desamparados).

Observando los resultados obtenidos, en morteros clase A y clase B fabricados con arena de río lavada, y morteros clase A y clase B elaborados con arena industrial. Debido a la gran variabilidad que en todos los casos se presenta, no es posible obtener una tendencia clara de si alguna de las tres cales utilizadas en la investigación generan mejores resultados, al realizar una comparación entre ellas.

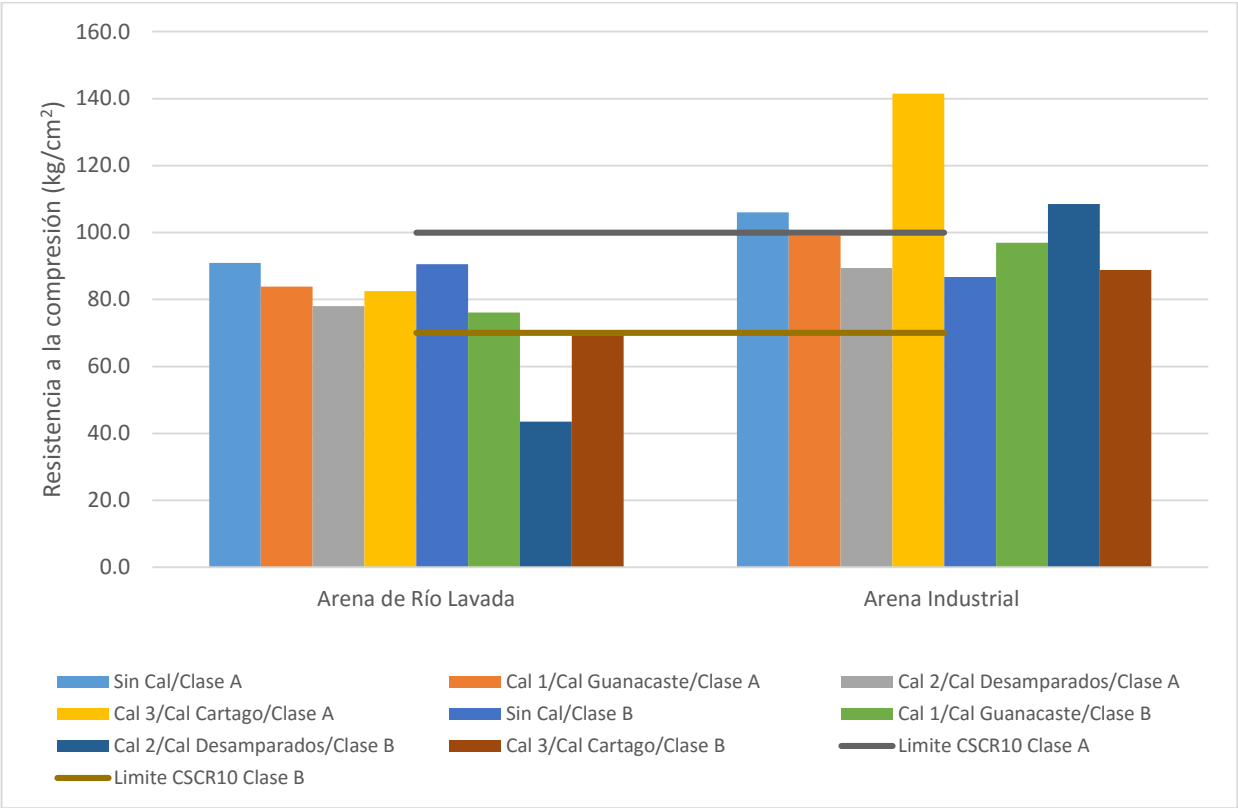


Figura 27. Comparación resultados de resistencia a la compresión de la mampostería para la arena de río lavada y arena industrial

Como es posible observar en la Figura 27, la arena industrial generó en la mayoría de los morteros fabricados resultados más favorables que la arena de río lavada, tanto en

morteros clase A como morteros clase B. Además, de esta manera gráfica es más sencillo observar el cumplimiento o incumplimiento de cada uno de los morteros. En algunos casos, como en el mortero clase B fabricado con cal de Desamparados o bien el mortero clase A fabricado con cal de Cartago, los resultados obtenidos entre arenas distan de manera significativa. Mientras que, en otros como el mortero clase B de ambas arenas fabricado sin cal, los resultados son relativamente cercanos.

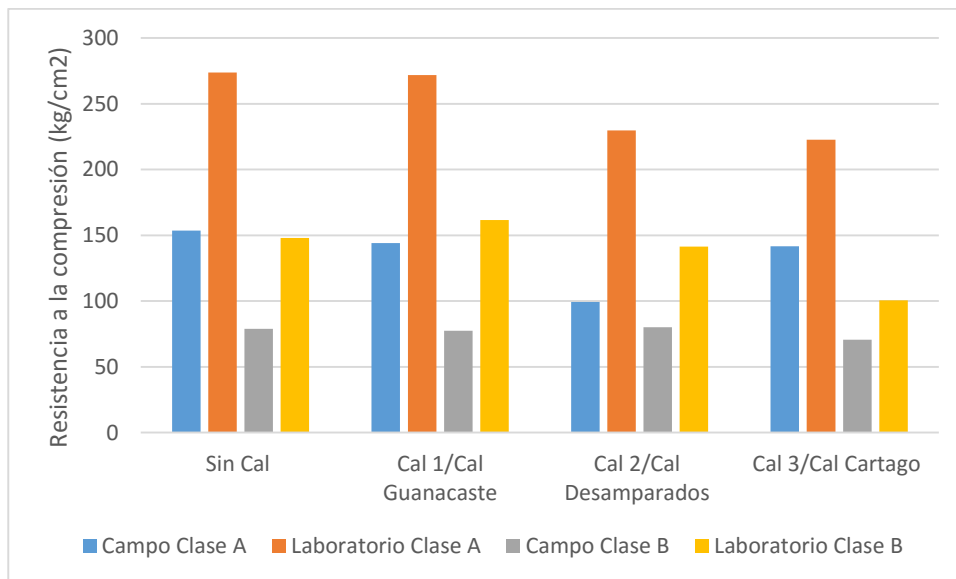


Figura 28. Comparación de resultados de cubos de mortero realizados en condiciones de laboratorio y campo para morteros fabricados con arena de río lavada

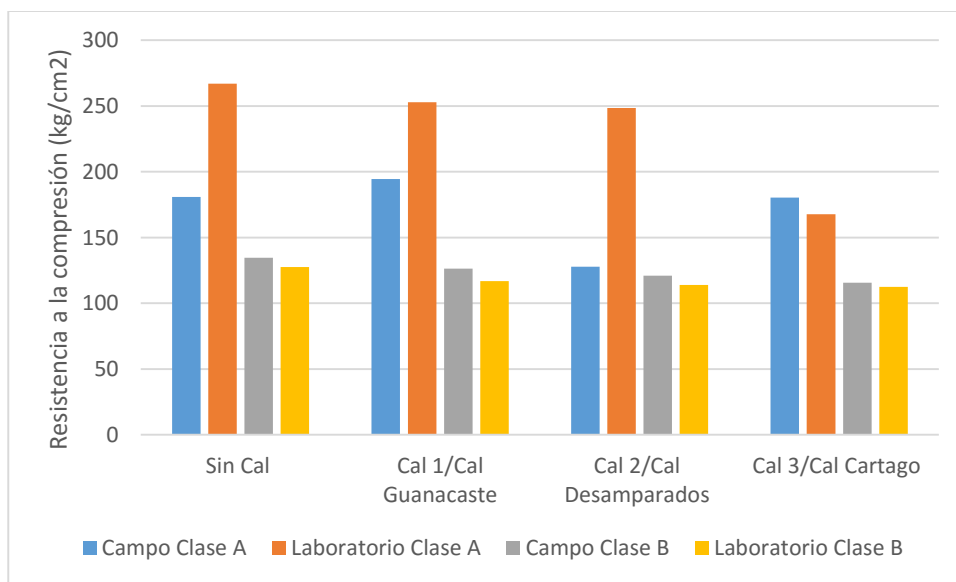


Figura 29. Comparación de resultados de cubos de mortero realizados en condiciones de laboratorio y campo para morteros fabricados con arena industrial

Se consideran morteros de campo, aquellos morteros que fueron fabricados por el albañil, mientras que los morteros de laboratorio fueron fabricados por la estudiante. Ambos morteros fueron fabricados con las dosificaciones volumétricas establecidas en el Código Sísmico de Costa Rica 2010. Todos los morteros fabricados en el laboratorio, debían cumplir con el flujo establecido por la norma ($110\% \pm 5\%$). Pero los fabricados en campo, como es posible observar en el

Cuadro 19 y Cuadro 21, en su mayoría no cumplieron con esta especificación.

Es posible observar en el caso de arena de río lavada, que todos los morteros fabricados en el laboratorio superaron ampliamente las resistencias de los morteros fabricados en campo. Como se mencionó anteriormente, el exceso de agua pudo haber sido el causante de este decrecimiento en las resistencias.

Para el caso de los morteros clase A fabricados con arena industrial, únicamente el motero que contenía cal de Cartago presentó mayores resistencias en campo que en laboratorio, en los otros tres morteros se dio el comportamiento contrario. En cuanto a los morteros clase B, en todos los casos aunque por diferencias muy pequeñas, las resistencias obtenidas en los morteros fabricados en campo fueron superiores a las obtenidas en los morteros fabricados en el laboratorio.

3.5.3. Adherencia (esfuerzo a cortante), cruces de mampostería

Se realizaron especímenes (cruces, como se ha denominado para propósitos de este trabajo de investigación), para medir el esfuerzo a cortante capaz de resistir el mortero en estudio. Estas muestras consistían en la pega de cuatro bloques, dejando la sisa del medio sin mortero para permitir el desplazamiento del bloque.

Es importante medir el esfuerzo a cortante debido a que este es provocado por una fuerza paralela al bloque, misma dirección que presentan las fuerzas sísmicas que experimentan las estructuras.

Este ensayo no se encuentra normado, por lo cual los resultados obtenidos serán comparados únicamente entre ellos, con fin de establecer tendencias en cuanto al uso de una u otra cal, o bien de alguna de las arenas.

Cuadro 22. Resultados Esfuerzo a cortante en cruces fabricadas con arena de río lavada

		Arena de Río Lavada		
		Resistencia promedio (kg/cm ²)	Variación con respecto a un mortero sin cal (kg/cm ²)	%Variación con respecto a un mortero sin cal
Clase A	Sin cal	1,68		
	Cal 1 Cal Guanacaste	3,30	1,63	96,94%
	Cal 2 Cal Desamparados	2,86	1,18	70,17%
	Cal 3/Cal Cartago	2,49	0,81	48,44%
Clase B	Sin cal	1,39		
	Cal 1 Cal Guanacaste	2,08	0,69	49,90%
	Cal 2 Cal Desamparados	2,09	0,70	50,69%
	Cal 3/Cal Cartago	2,67	1,28	92,36%

Cuadro 23. Resistencia a la compresión medida en cubos de mortero, cruces fabricadas con arena de río lavada

	Clase A			Clase B		
	Flujo	Resistencia en compresión (kg/cm ²)	Cumple CSCR2010	Flujo	Resistencia en compresión (kg/cm ²)	Cumple CSCR2010
Sin cal	76,50	163,15	No cumple	118,5	78,86	No cumple
Cal 1/Cal Guanacaste	122	178,11	Cumple	118	77,50	No cumple
Cal 2/Cal Desamparados	118	142,76	No cumple	126,5	80,22	No cumple
Cal 3/Cal Cartago	119,5	141,75	No cumple	119,5	70,70	No cumple

Debido a la inexistencia de una norma, no es posible aseverar que los resultados que se obtuvieron son bajos o se encuentran en un rango aceptable. Sin embargo, se observó que tanto en clase A como clase B, el uso de cal en la fabricación del mortero mejoró la resistencia a cortante presente el elemento de mampostería en estudio. En ambos casos, se obtuvieron mejoras de mínimo un 48% con respecto a un mortero que no poseía cal, y como máximo en ambos casos de más de 90%.

No es posible determinar una tendencia en cuanto a tipos de cales. Ya que en el caso de clase A, se obtuvo que el mortero que mejor resistencia a cortante presentó fue el fabricado

con cal de Guanacaste y el de peores resultados el mortero que poseía cal de Cartago. En clase B, se presentó el comportamiento contrario.

En comparación con las resistencias a la compresión simple que debe alcanzar un mortero a utilizarse en la pega de bloques de mampostería, los esfuerzos a cortante obtenidos son muy pequeños. Se estudió si existe relación entre la resistencia a compresión y resistencia a cortante de los morteros estudiados, pero se encontró que no existe relación entre ellos. Por ejemplo, en morteros clase A fabricados con cal de Desamparados y cal de Cartago, se obtuvieron resistencias a la compresión simple menores que un mortero sin cal, pero las resistencias a cortante que se presentaron fueron mayores.

Cuadro 24. Resultados Esfuerzo a cortante en cruces fabricadas con arena industrial

		Arena Industrial			Arena Industrial Corregida		
		Resistencia Promedio (kg/cm ²)	Variación con respecto a un mortero sin cal (kg/cm ²)	%Variación con respecto a un mortero sin cal	Resistencia promedio (kg/cm ²)	Variación con respecto a un mortero sin cal (kg/cm ²)	%Variación con respecto a un mortero sin cal
Clase A	Sin cal	5,15			3,11		
	Cal 1 Cal Guanacaste	3,77	-1,38	-26,80%	3,25	0,14	4,42%
	Cal 2 Cal Desamparados	2,83	-2,32	-45,09%	3,65	0,53	17,18%
	Cal 3/Cal Cartago	2,53	-2,62	-50,82%	2,53	-0,58	-18,59%
Clase B	Sin cal	1,61			2,06		
	Cal 1 Cal Guanacaste	2,54	0,93	57,71%	2,54	0,48	23,28%
	Cal 2 Cal Desamparados	1,73	0,12	7,45%	1,73	-0,33	-16,01%
	Cal 3/Cal Cartago	2,03	0,42	26,06%	2,03	-0,03	-1,46%

Cuadro 25. Resistencia a la compresión medida en cubos de mortero, cruces fabricadas con arena industrial

	Clase A			Clase B		
	Flujo	Resistencia en compresión (kg/cm ²)	Cumple CSCR2010	Flujo	Resistencia en compresión (kg/cm ²)	Cumple CSCR2010
Sin cal	117,5	238,80	Cumple	105,5	134,60	Cumple
Cal 1/Cal Guanacaste	105	227,05	Cumple	100	126,44	Cumple
Cal 2/Cal Desamparados	86	193,06	Cumple	115	121,00	No cumple
Cal 3/Cal Cartago	118,5	180,50	Cumple	113,5	115,57	No cumple

Los resultados de los morteros elaborados con arena industrial, presentaron en algunos casos variaciones grandes entre cada una de sus muestras. Por lo cual, basándose en un criterio propio se procedió a eliminar aquellos valores que provocaron una varianza estadística grande entre ellos. Es por esto que se presentan dos resultados de arena industrial, los datos completos de cada uno de los ensayos se muestran en el apéndice G, se presentan en el mismo anexo los datos que fueron eliminados en cada uno de los casos.

El ensayo de resistencia a cortante fue un ensayo de gran cuidado, ya que únicamente con una mala manipulación se podía desde el traslado de la probeta, alterar o bien tener una pérdida completa de la muestra. Durante la construcción de cada uno de los especímenes, se tuvo presencia de mortero en la sisa vacía que debía poseer, esto debido al proceso de la construcción de la muestra. Por tanto, una vez construido el espécimen se procedía a limpiar la sisa. Aunque se trataba de eliminar todo el mortero presente en la sisa, en algunas muestras quedaron pequeñas porciones de mortero que generaron una cuña, característica que pudo tener influencia directa en que se obtuvieran resistencias al cortante mayores.

Tomando en cuenta todos los resultados obtenidos de las muestras, se determinó que en el caso de morteros clase A la cal no generó mejoras en la resistencia a cortante. Por el contrario, generó pérdidas de resistencia que oscilaron entre 27%-51% en comparación a un mortero fabricado sin cal. En el caso de morteros clase B, se dio el comportamiento contrario, en todos los casos el uso de cal provocó que la resistencia a cortante aumentará en comparación a un mortero sin cal hasta en un 58%.

Cuando se analizaron los resultados eliminando los datos antes mencionados, el comportamiento que se mencionó anteriormente se invirtió. En morteros clase A con cal de Guanacaste y cal de Desamparados la resistencia aumento en un 5% y 17%, respectivamente. El mortero fabricado con cal de Cartago continúa con la tendencia de disminuir la resistencia, pero este descenso pasa de un 50% a un 18%.

En los morteros clase B, el único que sigue presentando una mejora es el elaborado con cal de Guanacaste, aunque esta mejora desciende de un 57% a un 23%. En los dos casos restantes, la resistencia disminuye en comparación a un mortero que no posee cal. No se logra establecer una tendencia clara en cuanto al beneficio que genera el uso de la cal en la resistencia de cortante. Pero, en ambos análisis realizados se obtuvo que el 50% de los morteros aumentaron su resistencia, mientras la otra mitad la disminuyeron.

Al igual que en los resultados de arena de río lavada, no se obtiene relación entre la resistencia a compresión simple y la resistencia de cortante. Tomando como ejemplo el mortero clase B con cal de Guanacaste y un mortero sin cal, la resistencia a compresión simple baja mientras la resistencia a cortante aumenta. Sin embargo, esta no es una tendencia generalizada.

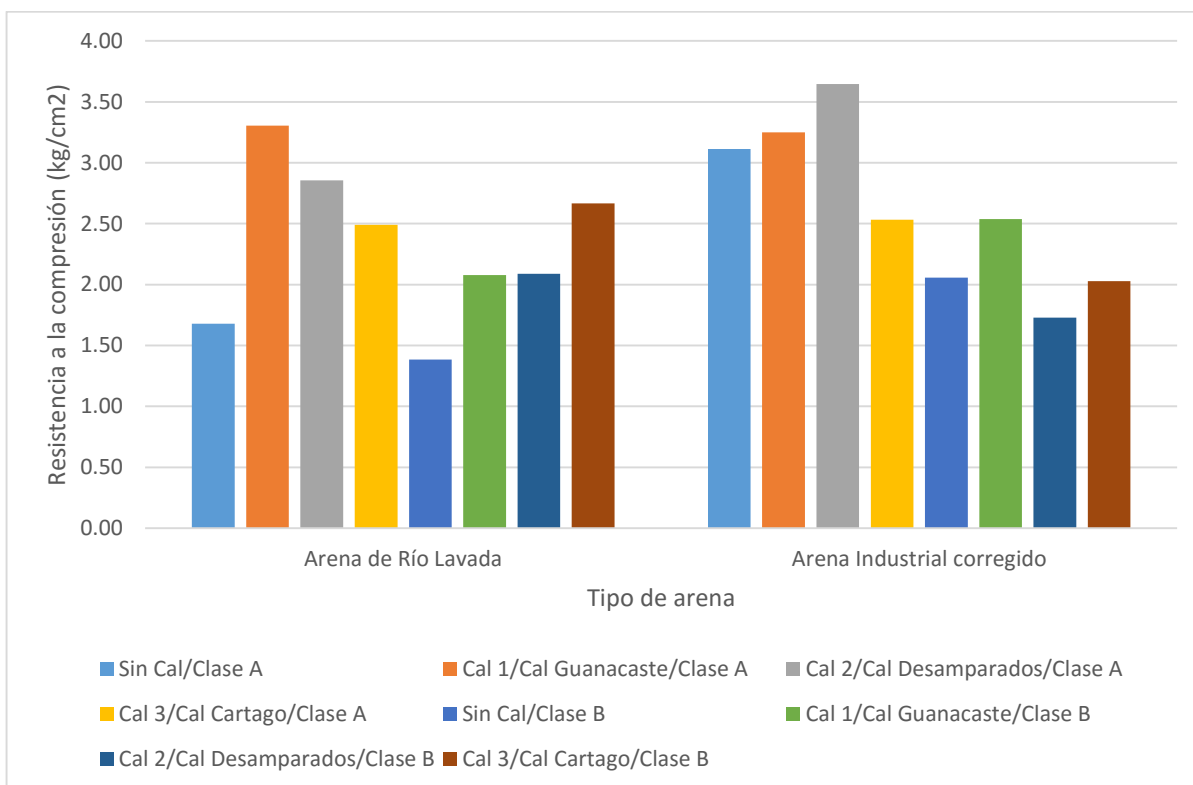


Figura 30. Comparación de resultados de resistencia a cortante entre arena de río lavada y arena industrial

Se evidencia en la Figura 30, que se obtuvieron mejores resistencias a cortante cuando se fabricaron los morteros utilizando arena industrial. Si bien, los resultados en arena de río lavada fueron más constantes entre ellos, y muestran una tendencia clara en cuanto a la mejora que se presentó con el uso de cal en el mortero. En cuanto a adherencia, en la mayoría de los casos los resultados obtenidos en arena industrial fueron superiores, aunque en esta arena fue imposible determinar una tendencia. Además, otra de las características que se evidencian, es que en todos los casos los morteros clase A obtuvieron mayores resistencias al cortante que los morteros clase B.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

4.1.1. *Propiedades físicas*

La consistencia, es una propiedad importante en la preparación de los morteros. Durante las distintas pruebas realizadas en este trabajo de investigación, se comprobó que con variaciones pequeñas (desde un 5%) en la cantidad de agua utilizada en la mezcla, el flujo presentaba cambios importantes. Para condiciones de laboratorio, tomando en cuenta mediciones cualitativas, una mezcla fabricada con arena de río que cumpliera con el flujo establecido no representaba una mezcla trabajable. Para esta arena, era preferible trabajar cerca del límite superior permitido (115), con el fin de tener mejor consistencia.

En cuanto a las condiciones de campo, para hacer mezclas con arena de río lavada trabajables y que presentarán una plasticidad adecuada, era necesario el uso de una cantidad considerable de agua. Provocando de esta manera, que en la mayoría de los casos no se cumpliera con el flujo establecido por la norma (110 ± 5). En cuanto a los morteros fabricados con arena industrial, mantener el flujo cerca del límite inferior (105) resultaba favorable. De lo contrario, la fluidez presente podría provocar asentamientos diferenciales al colocar los bloques. Tanto en condiciones de campo como laboratorio, las relaciones agua y cemento fueron muy similares.

Si bien, puede que cuantitativamente no se presenten diferencias significativas en cuanto al uso de la cal como material cementante en la fabricación del mortero, cualitativamente se nota una mejora sustancial en la trabajabilidad que presenta el mortero cuando se hace uso de la cal. Basándose tanto en criterio propio como del albañil, la cal proveniente de Guanacaste por sus propiedades y consistencia, fue la que mejoró de manera más óptima la trabajabilidad, seguida por la de Desamparados y por último la de Cartago, esta debía ser tamizada previamente a ser utilizada en cualquiera de los ensayos.

Los morteros elaborados con cal y especialmente los morteros fabricados con cal proveniente de Guanacaste y Desamparados, se mantuvieron trabajables por rangos de tiempos más prolongados. Permitiendo de esta manera que, las cruces y prismas fueran contruidos con la cantidad de agua proporcionada inicialmente a la mezcla. Sin embargo, en el caso de morteros elaborados sin cal o bien con cal de Cartago, se les debió adicionar más

agua en el proceso intermedio, debido a que el mortero perdía plasticidad rápidamente provocando de esta manera una falta de trabajabilidad.

4.1.2. Contenido de aire

Tanto los morteros clase A y morteros clase B fabricados con las dos arenas en estudio, cumplieron con el parámetro que establece la norma (contenido de aire < 5%). Sin embargo, el uso de cal provocó que el contenido de aire presente en la mezcla descendiera.

Aun cuando el contenido de aire fue más bajo, las variaciones que se presentaron entre ellas fueron muy pequeñas, por lo cual no representaron diferencias significativas en ninguno de los casos estudiados.

4.1.3. Retención de agua

En el caso de arena de río lavada, la mayoría de los morteros analizados no cumplen con la norma. Dicho incumplimiento se da hasta en un 11%, aquellos que cumplen lo hacen por porcentajes muy pequeños. Sin embargo, cuando se utilizó cal en la fabricación del mortero la capacidad de retención de agua mejoró hasta en un 12%. Aunque se dio un aumento, este no representa diferencias significativas.

Para los morteros fabricados con arena industrial, seis de los ocho morteros estudiados cumplieron con la norma ASTM 1506. Los únicos morteros que no cumplen, son aquellos que no contenían cal con capacidades de retención de agua alrededor de 55%. Estos porcentajes de retención de agua bajos serían problemáticos en climas con altas temperaturas, por la pérdida de agua. Al utilizar cal en la mezcla se dieron mejoras significativas, se obtuvieron mejoras de mínimo un 9% y máximo de 26%.

Las mejoras en la capacidad de retención de agua en morteros con arena de río lavada y arena industrial, podrían ser causadas por las granulometrías correspondientes a cada una de ellas.

4.1.4. Resistencia a la compresión simple

Los morteros fabricados con arena de río lavada como con arena industrial, en la mayoría de los casos no alcanzaron la proyección de resistencia esperada a los 7 días (70%

de la resistencia a los 28 días). Pero la resistencia que interesa realmente es la desarrollada a los 28 días.

En el caso de arena de río lavada, únicamente el mortero clase B fabricado con cal de Cartago incumple con la resistencia esperada. Mientras que cuando se utilizó arena industrial, 50% de los morteros incumplieron con la norma, el mortero que menos resistencia desarrolló (mortero clase A con cal de Cartago) alcanzó un 70% de la misma.

Es en este ensayo en el único que se logra establecer una tendencia entre calces, generando mejores resultados con la cal de Guanacaste, seguida por la Desamparados y por último la de Cartago.

4.1.5. Resistencia a la compresión de la mampostería f'_m (Prismas de mampostería)

En el caso de prismas realizados con morteros con arena de río lavada, en la mampostería clase A no se cumplió con la resistencia esperada en ninguno de los casos, obteniendo como desarrollo mínimo de resistencia un 78% y máximo de 91%. En los casos de mampostería clase B, dos de ellos incumplieron la norma y consiguieron un desarrollo de resistencia de 62% y 99%. La utilización de cal en la fabricación del mortero, causa en todos los casos estudiados un decrecimiento en la resistencia de la mampostería, comparándolos con un elemento de mampostería fabricado sin cal.

En los casos de arena industrial, los prismas de mampostería clase A que incumplieron con la norma alcanzaron un desarrollo mínimo de resistencia del 89%. Mientras que los prismas clase B, cumplieron con el requisito del Código Sísmico en todas las muestras realizadas. El uso de cal genera una tendencia mayoritaria a mejorar el f'_m , en comparación a aquellas probetas fabricadas sin cal.

4.1.6. Adherencia (Esfuerzo a cortante)

Al comparar un mortero sin cal con uno con cal, en el caso de arena de río se obtienen mejoras desde un 48% hasta un 97%. Además, se obtuvo una tendencia a mejorar la capacidad de cortante en todos los casos analizados. En el caso de arena industrial, no se obtuvo una tendencia tan clara, pero es posible determinar que las pérdidas de capacidad a cortante comparadas a un mortero sin cal no fueron muy grandes (máximo un 19%). Los

resultados obtenidos para morteros clase A y clase B, fueron muy similares por lo cual no se encontró que entre clases de mortero dentro de una arena específica, existan cambios significativos.

Si bien, los resultados obtenidos con arena de río lavada son más consistentes entre ellos que los de arena industrial, se obtiene capacidades a cortante mayores en el caso de la arena industrial.

4.1.7. Conclusiones generales

Se determinó cualitativamente que la cal mejora la plasticidad de la mezcla. Dependiendo de la granulometría y de las propiedades químicas de la cal utilizada, será la mejora en la consistencia del mortero, tendencia presente tanto en morteros de río lavada como arena industrial.

Se demostró mediante los diferentes ensayos y mediciones cualitativas, que una arena que presenta pocos finos será una arena poco trabajable y para obtener una plasticidad adecuada será necesario el uso de cantidades grandes de agua. Dichas cantidades resultan desfavorables en propiedades como la resistencia a compresión simple.

El contenido de aire en todos los casos estudiados cumple con la norma. Sin embargo, se buscaba que la cal presentará la tendencia contraria a la que se presentó; se esperaba que el contenido de aire aumentara al adicionar cal a la mezcla.

En este trabajo de investigación, fue posible establecer una tendencia clara en que el uso de cal produce una mejora en la retención de agua de los morteros. Tanto en aquellos fabricados con arena de río lavada como con arena industrial, hubo mejoras en comparación con un mortero sin cal. Aun cuando en ambas arenas se hayan presentado mejoras, en el caso de arena industrial dichas varianzas fueron significativas, mientras que en el caso de arena de río lavada, no.

Como teóricamente se esperaba (Figura 2) de acuerdo con las proporciones utilizadas, se encontró que al utilizar cal las resistencias a compresión simple de los morteros decrecieron mientras que la retención de agua mejoró. Esta tendencia se evidenció en todos los tipos de morteros analizados.

En cuanto a la resistencia a compresión simple del mortero, se presentó la tendencia generalizada de un decrecimiento de la misma cuando se adiciona cal a la mezcla. Dicho descenso aumenta dependiendo del volumen de cal utilizado.

Se determinó que el incumplimiento de la norma puede ser producto del mortero de pega, debido a que los bloques cumplen individualmente el requisito del CSCR10. Sin embargo, al convertirlo en un elemento de mampostería, no se alcanzó la resistencia mínima esperada.

Es posible concluir que un mortero clase B, aun cuando se trabaje con bloques de concreto clase A deben considerarse en todo momento mampostería clase B. Mientras que, basándose en los resultados obtenidos, los morteros clase A utilizando bloques clase A también deberían ser considerado mampostería clase B.

La influencia que posee la cal en la resistencia a la mampostería dependerá de la granulometría de la arena con la que se trabaje. En una arena con pocos finos (arena de río) tendió a decrecer, mientras que en una arena en la que se presente mayor cantidad de finos (arena industrial) aumentó.

Se determinó que, en cuanto a la adherencia, se obtienen mejores resultados en una arena que posea una granulometría más gruesa (tendencias claras y mayor consistencia de datos). Sin embargo, la arena que con más cantidad de finos (arena industrial) generó capacidades a cortante mayores. En cuanto a la cal, se determinó que su uso mejoró la capacidad de adherencia de la mampostería significativamente en todos los casos analizados.

4.2. Recomendaciones

Las propiedades características de cada una de las cales utilizadas en la investigación, distaron bastante una de otra. Por lo cual, se recomienda que se haga un análisis del método de fabricación de cada una de ellas, para determinar si este es el causante de las variaciones que se presentan y si la zona demográfica también influye.

Debido a que no se presentó la tendencia deseada en la prueba de contenido de aire, sería recomendable realizar nuevamente la prueba haciendo uso de un aditivo o bien un aireador, para medir si en este caso se presenta una mejora en el contenido de aire.

Se recomienda un análisis de la resistencia a compresión simple, especialmente de los morteros clase B a edades mayores de 28 días. Se propone una edad de falla de 56 días, para establecer una curva más clara del desarrollo de la resistencia del mortero. Además para verificar si aquellos morteros que no cumplieron con el requisito propuesto, a esta edad de falla alcanzan la resistencia esperada.

Al igual que la resistencia a compresión simple, se recomienda fallar prismas de mampostería a edades mayores a 28 días para determinar a qué edad se logra alcanzar o bien

superar la resistencia establecida. Sería recomendable de igual manera, fabricar más especímenes de cada uno de los morteros analizados.

Por ser la arena al ser el componente de mayor abundancia en un mortero, sus propiedades tienen gran influencia en las de la mezcla. Dado que, en esta investigación se trabajó con arena de río lavada cuya propiedad principal era la presencia de pocos finos, es recomendable realizar una investigación con arena de río lavada combinada con otro material capaz de brindarle la cantidad mínima de finos que establece la norma.

Debido a los resultados cualitativos y en algunos casos cuantitativos (adherencia y retención de agua), se recomienda el uso de cal en la fabricación de morteros de pega de bloques de mampostería. De las tres cales estudiadas se recomienda el uso de la cal de Guanacaste debido a que fue la que cumplió o se acercó más a la norma y con la que en ambas arenas mejoró sustancialmente la plasticidad.

De las dos arenas en estudio, se recomienda el uso de arena industrial, ya que además de obtener los mejores resultados numéricos, fue la que presentó propiedades físico-mecánicas más favorables.

Este proyecto final de graduación en su parte experimental, se llevó a cabo paralelamente con un proyecto similar que analizó el comportamiento de un mortero fabricado con arena de tajo. Por lo cual, para tener resultados de análisis de otra arena y compararlos con los que se presentaron anteriormente, se recomienda revisar el proyecto final de **graduación: "Influencia de la cal en las características físico-mecánicas del mortero de pega para mampostería, fabricado con arena de tajo"** elaborado por Ana María Campos Rojas.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Acón, C. (2014). *Influencia de la cal nacional en las propiedades del mortero para pega de bloques en mampostería*. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura de Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Amad, H., Prysedale, R., & Baker, L. (2008). *Masonry Structures Behaviour and desing* (Vol. Tercera Edición). Colorado, Estados Unidos.
- Arias, E. (2012). *Evaluación de las propiedades del mortero preempacado para pega de bloques de mampostería*. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura de Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- ASTM (American Society for Testing and Materials) . (2007). *Standard Test Method for Flow Hydraulic Cement Mortar*. ASTM C1437-07 Philadelphia: ASTM.
- ASTM (American Society for Testing and Materials) . (2008). *Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle*. ASTM C191-09 Philadelphia: ASTM.
- ASTM (American Society for Testing and Materials) . (2009). *Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate*. ASTM C29/C29M-09 Philadelphia: ASTM.
- ASTM (American Society for Testing and Materials) . (2009). *Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement* . ASTM C188-09 Philadelphia: ASTM.
- ASTM (American Society for Testing and Materials) . (2011). *Standard Specification for Aggregate for Masonry Mortar*. ASTM C144-11 Philadelphia: ASTM.
- ASTM (American Society for Testing and Materials) . (2011). *Standard Specification for Hydrated Lime for Masonry Purposes*. ASTM C207-06 (2011) Philadelphia: ASTM.

- ASTM (American Society for Testing and Materials) . (2011). *Standard Test Method for Amount of Water Required for Normal Consistency of Hidraulyc Cement Paste*. ASTM C187-11e1 Philadelphia: ASTM.
- ASTM (American Society for Testing and Materials) . (2011). *Standard Test Methods for Physical Testing of Quicklime, Hydrated Lime, and Limestone* . ASTM C110-11 Philadelphia: ASTM.
- ASTM (American Society for Testing and Materials) . (2012). *Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in or 50 mm Cube Specimens)*. ASTM C109/C109M-12 Philadelphia: ASTM.
- ASTM (American Society for Testing and Materials) . (2012). *Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate*. ASTM C128-12 Philadelphia: ASTM.
- ASTM (American Society for Testing and Materials). (2006). *Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates*. ASTM C136-06 Philadelphia: ASTM.
- ASTM (American Society for Testing and Materials). (2009). *Standard Test Method for Water Retention of Hydraulic Cement-Based Mortars and Plasters*. ASTM C1506-09 Philadelphia: ASTM.
- ASTM (American Society for Testing and Materials). (2011). *Standard Test Method for Chemical Analysis of Limestone, Quicklime, and Hydrated Lime*. ASTM C25-11 Philadelphia: ASTM.
- ASTM (American Society for Testing and Materials). (2012). *Standard Specification for Masonry Cement*. ASTM C91/C91M-12 Philadelphia: ASTM.
- Chacón, C. (2001). *Análisis y evaluación técnica en morteros para repellos y recomendaciones para su uso*. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura de Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica. (2010). *Código Sísmico de Costa Rica 2010*. San José, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.

- Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica. (2011). *Código Sísmico de Costa Rica 2010*. Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Farny, J., Melander, J., & Panarese, W. (2008). *Concrete Masonry Handbook*. Estados Unidos: Portland Cement Association (PCA).
- Grupo H & M. (04 de Noviembre de 2014). *Arena Fina*. Obtenido de Grupo H & M: <http://www.grupohym.com/agregados/arena-fina/>
- Holcim. (26 de Febrero de 2016). *Arena 6.3 mm (Arena Industrial)*. Obtenido de Holcim Costa Rica: http://www.holcim.cr/uploads/CR/Arena_6_3mm_Guapiles_01.pdf
- Holcim. (26 de Febrero de 2016). *Cemento Fuerte UG-RTCR 383:2004*. Obtenido de Holcim Costa Rica: <http://www.holcim.cr/editorials/cemento-fuerte-ug-rtcr-3832004.html>
- Klingner, R. (2012). *Especificación, diseño y cálculo de mampostería*. San José, Costa Rica: Instituto Costarricense del Cemento y del Concreto (ICCYC).
- Laboratorio de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME). (08 de Septiembre de 2014). *Resistencia a la compresión de prismas de mampostería*. Obtenido de Laboratorio de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME): <http://revistaiv.lanamme.ucr.ac.cr/sitio-nuevo/images/ensayos/3-concreto/3.23.pdf>
- Navas, A. (2013). *IC0604 Materiales de Construcción*. Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Poveda, Á. (2015). *Notas de clase. Curso Estructuras de Mampostería*. San José.

6. APÉNDICES Y ANEXOS

6.1. Apéndice A. Datos experimentales del cemento

El cemento utilizado durante toda la investigación fue el cemento de uso general de Holcim, se obtuvo una gravedad específica de 2.95

6.2. Apéndice B. Datos experimentales del agregado fino

Cuadro 26. Análisis granulométrico Arena de Río Lavada

Malla	Abertura (mm)	Masa ret + caps (g)	Masa retenida (g)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasando
#4	4.75	179.1	2.5	0.16%	0.16%	99.84%
#8	2.36	413.9	237.3	15.66%	15.83%	84.17%
#16	1.18	472.2	295.6	19.51%	35.34%	64.66%
#20	0.841	351	174.4	11.51%	46.85%	53.15%
#30	0.6	353.9	177.3	11.70%	58.55%	41.45%
#40	0.425	381.4	204.8	13.52%	72.06%	27.94%
#50	0.3	344.8	168.2	11.10%	83.16%	16.84%
#60	0.25	252.6	76	5.02%	88.18%	11.82%
#100	0.15	288.9	112.3	7.41%	95.59%	4.41%
#200	0.075	242.5	65.9	4.35%	99.94%	0.06%
Charola		177.4	0.8	0.05%	99.99%	0.01%
M.F.	6.96%					
% Finos	3.02%					

Cuadro 27. Análisis granulométrico Arena Industrial

Malla	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasando
#4	4.75	3.8	0.42%	0.42%	99.58%
#8	2.36	240.1	26.44%	26.86%	73.14%
#16	1.18	265.2	29.20%	56.06%	43.94%
#30	0.6	158.6	17.46%	73.52%	26.48%
#50	0.3	95.5	10.52%	84.03%	15.97%
#100	0.15	64.6	7.11%	91.15%	8.85%

#200	0.075	45.6	5.02%	96.17%	3.83%
Charola		2.9	0.32%	96.49%	3.51%
M.F.	3.32%				
% Finos	13.72%				

Cuadro 28. Caracterización de la arena de río lavada y arena industrial

Característica		Arena	
		Arena de Río Lavada	Arena Industrial
Peso Unitario Suelto (kg/m ³)	γ_{suelto}	1487.28	1508.7
Peso Unitario Envarillado (kg/m ³)	$\gamma_{\text{envarillado}}$	1570.38	1626.3
Densidad relativa aparente (kg/m ³)	G_s	2.65	2.73
Densidad relativa saturada superficie seca (kg/m ³)	G_{bss}	2.52	2.66
Densidad relativa seca (kg/m ³)	G_{bs}	2.44	2.62
Absorción	%D	3.14	1.54
Densidad aparente	D_s	2642.63	2721.16
Densidad saturada superficie seca	D_{bss}	2512.59	2650.64
Densidad seca	D_{bs}	2428.87	2604.59
Presencia de materia orgánica		2 ^(*)	

(*)Se obtuvo un resultado menor al patrón por tanto no contiene materia orgánica que pueda ser dañina para la mezcla

6.3. Apéndice C. Datos experimentales contenido de aire

Cuadro 29. Resultados de contenido de aire de los morteros fabricados con arena de río lavada

	Mortero	1		Cumple ASTM		2		Cumple ASTM		Promedio	%Variacion con respecto al morero sin cal
		Flujo	Contenido de aire	Flujo 87.5±7.5	Contenido de aire <7%	Flujo	Contenido de aire	Flujo 87.5±7.5	Contenido de aire <7%		
Clase A	Sin Cal	88.0	5.14%	Cumple	Cumple	80.0	3.00%	Cumple	Cumple	4.07%	
	Cal 1 Cal Guanacaste	81.0	4.66%	Cumple	Cumple	86.5	3.87%	Cumple	Cumple	4.27%	0.20%
	Cal 2 Cal Desamparados	80.5	4.71%	Cumple	Cumple	94.0	3.25%	Cumple	Cumple	3.98%	-0.09%
	Cal 3 Cal Cartago	89.0	4.30%	Cumple	Cumple	90.5	2.58%	Cumple	Cumple	3.44%	-0.63%
Clase B	Sin Cal	85	5.14%	Cumple	Cumple	83	3.96%	Cumple	Cumple	4.55%	
	Cal 1 Cal Guanacaste	80	3.25%	Cumple	Cumple	85	3.45%	Cumple	Cumple	3.35%	-1.20%
	Cal 2 Cal Desamparados	80	4.82%	Cumple	Cumple	87.5	3.20%	Cumple	Cumple	4.01%	-0.54%
	Cal 3 Cal Cartago	92	4.66%	Cumple	Cumple	95	2.14%	Cumple	Cumple	3.40%	-1.15%

Cuadro 30. Resultados de contenido de aire de los morteros fabricados con arena industrial

Mortero	1		Cumple ASTM		2		Cumple ASTM		Promedio	%Variacion con respecto al morero sin cal	
	Flujo	Contenido de aire	Flujo 87.5±7.5	Contenido de aire <7%	Flujo	Contenido de aire	Flujo 87.5±7.5	Contenido de aire <7%			
Clase A	Sin Cal	90.5	3.07%	Cumple	Cumple	87	4.15%	Cumple	Cumple	3.61%	
	Cal 1/Cal Guanacaste	85	2.52%	Cumple	Cumple	87.5	2.34%	Cumple	Cumple	2.43%	-1.18%
	Cal 2/Cal Desamparados	87	2.05%	Cumple	Cumple	83	2.08%	Cumple	Cumple	2.07%	-1.55%
	Cal 3/Cal Cartago	84	2.03%	Cumple	Cumple	82.5	2.81%	Cumple	Cumple	2.42%	-1.19%
Clase B	Sin Cal	84	1.93%	Cumple	Cumple	84.5	3.31	Cumple	Cumple	2.62%	
	Cal 1/Cal Guanacaste	89	2.14%	Cumple	Cumple	81	1.51	Cumple	Cumple	1.83%	-0.79%
	Cal 2/Cal Desamparados	84	2.37%	Cumple	Cumple	84	2.58	Cumple	Cumple	2.47%	-0.15%
	Cal 3/Cal Cartago	93	1.80%	Cumple	Cumple	84	1.17	Cumple	Cumple	1.49%	-1.14%

6.4. Apéndice D. Datos experimentales retención de agua

Cuadro 31. Resultados de retención de agua en morteros fabricados con arena de río lavada

	Mortero	Retención de Agua			Cumple ASTM	%Variación con respecto a la norma
		1	2	Promedio		
Clase A	Sin Cal	64.22%	64.41%	64.32%	No Cumple	-10.68%
	Cal 1/Cal Guancaste	77.14%	75.94%	76.54%	Cumple	1.54%
	Cal 2/Cal Desamparados	71.43%	73.61%	72.52%	No Cumple	-2.48%
	Cal 3/Cal Cartago	73.33%	70.37%	71.85%	No Cumple	-3.15%
	Promedio			71.31%	No Cumple	-3.69%
Clase B	Sin Cal	68.72%	71.03%	69.88%	No Cumple	-5.12%
	Cal 1/Cal Guancaste	71.43%	73.33%	72.38%	No Cumple	-2.62%
	Cal 2/Cal Desamparados	70.62%	76.09%	73.35%	No Cumple	-1.65%
	Cal 3/Cal Cartago	76.32%	78.70%	77.51%	Cumple	2.51%
	Promedio			73.28%	No Cumple	-1.72%

Cuadro 32. Resultados de retención de agua en morteros fabricados con arena industrial

	Mortero	Retención de Agua			Cumple ASTM	%Variación con respecto a la norma
		1	2	Promedio		
Clase A	Sin Cal	53.70%	56.02%	54.86%	No Cumple	-20.14%
	Cal 1/Cal Guancaste	88.00%	90.74%	89.37%	Cumple	14.37%
	Cal 2/Cal Desamparados	90.91%	88.89%	89.90%	Cumple	14.90%
	Cal 3/Cal Cartago	84.51%	89.40%	86.96%	Cumple	11.96%
	Promedio			80.27%	Cumple	5.27%
Clase B	Sin Cal	58.60%	59.35%	58.98%	No Cumple	-16.03%
	Cal 1/Cal Guancaste	88.63%	87.68%	88.15%	Cumple	13.15%
	Cal 2/Cal Desamparados	85.02%	88.24%	86.63%	Cumple	11.63%
	Cal 3/Cal Cartago	83.48%	79.50%	81.49%	Cumple	6.49%
	Promedio			78.81%	Cumple	3.81%

6.5. Apéndice E. Datos experimentales resistencia a la compresión simple

Los resultados que se encuentran resaltados en verde son aquellos que fueron eliminados del análisis, descarte realizado siguiendo el método de descarte establecido en la norma ASTM C109

Cuadro 33. Resultados de resistencia a la compresión simple en mortero clase A utilizando: arena de río lavada, sin cal

Edad de Falla	Muestra	Peso (g)	Densidad (g/cm ³)	Fuerza (KN)	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Cumple CSCR10	Promedio	Rango	Porcentaje	Cumple ASTM C109
7 días	1	277.02	2.22	40.59	165.50	Cumple	41.58	2.25	3.617808	Cumple
	2	277.59	2.22	41.322	168.49	Cumple				
	3	276.28	2.21	42.84	174.68	Cumple				
	Promedio	276.96	2.22	41.58	169.56	Cumple				
28 días	1	276.6	2.21	67.33	274.54	Cumple	67.13	2.21	5.84002	Cumple
	2	278.2	2.23	68.13	277.80	Cumple				
	3	276.5	2.21	65.92	268.79	Cumple				
	Promedio	277.10	2.22	67.13	273.71	Cumple				

Cuadro 34. Resultados de resistencia a la compresión simple en mortero clase A utilizando: arena de río lavada, cal de Guanacaste

Edad de Falla	Muestra	Peso (g)	Densidad (g/cm ³)	Fuerza (KN)	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Cumple CSCR10	Promedio	Rango	Porcentaje	Cumple ASTM C109
7 días	1	275.27	2.20	41.36	168.64	Cumple	39.72	2.96	3.45535	Cumple
	2	276.78	2.21	39.39	160.61	Cumple				
	3	275.72	2.21	38.4	156.57	Cumple				
	Promedio	275.92	2.21	39.72	161.94	Cumple				

28 días	1	278.27	2.23	66	269.11	Cumple	64.50	3	4.902	Cumple
	2	280.77	2.25	71	289.50	Cumple				
	3	279.31	2.23	63	256.88	Cumple				
	Promedio	279.45	2.24	66.67	271.83	Cumple				

Cuadro 35. Resultados de resistencia a la compresión simple en mortero clase A utilizando: arena de río lavada, cal de Desamparados

Edad de Falla	Muestra	Peso (g)	Densidad (g/cm ³)	Fuerza (KN)	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Cumple CSCR10	Promedio	Rango	Porcentaje	Cumple ASTM C109
7 días	1	275.38	2.20	32.72	133.41	Cumple	31.47	2.11	2.7376	Cumple
	2	270.17	2.16	30.61	124.81	Cumple				
	3	273.66	2.19	31.07	126.69	Cumple				
	Promedio	273.07	2.18	31.47	128.30	Cumple				
28 días	1	276.45	2.21	56	228.34	Cumple	56.33	1	4.901	Cumple
	2	275.79	2.21	57	232.42	Cumple				
	3	274.69	2.20	56	228.34	Cumple				
	Promedio	275.64	2.21	56.33	229.70	Cumple				

Cuadro 36. Resultados de resistencia a la compresión simple en mortero clase A utilizando: arena de río lavada, cal de Cartago

Edad de Falla	Muestra	Peso (g)	Densidad (g/cm ³)	Fuerza (KN)	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Cumple CSCR10	Promedio	Rango	Porcentaje	Cumple ASTM C109
7 días	1	271.84	2.17	33	134.56	Cumple	33.00	0	2.871	Cumple
	2	273.34	2.19	33	134.56	Cumple				
	3	272.65	2.18	33	134.56	Cumple				
	Promedio	272.61	2.18	33.00	134.56	Cumple				
28 días	1	276.51	2.21	56.25	229.36	Cumple	54.65	3.2	4.75455	Cumple
	2	276.43	2.21	54.65	222.83	Cumple				

	3	274.86	2.20	53.05	216.31	Cumple				
	Promedio	275.93	2.21	54.65	222.83	Cumple				

Cuadro 37. Resultados de resistencia a la compresión simple en mortero clase B utilizando: arena de río lavada, sin cal

Edad de Falla	Muestra	Peso (g)	Densidad (g/cm ³)	Fuerza (KN)	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Cumple CSCR10	Promedio	Rango	Porcentaje	Cumple ASTM C109
7 días	1	273.53	2.19	19.64	80.08	No Cumple	19.80	0.73	1.72231	Cumple
	2	272.65	2.18	20.24	82.53	No Cumple				
	3	273.6	2.19	19.51	79.55	No Cumple				
	Promedio	273.26	2.19	19.80	80.72	No Cumple				
28 días	1	272.2	2.18	36	146.79	Cumple	36.27	1.18	3.15578	Cumple
	2	273.9	2.19	37	150.87	Cumple				
	3	274	2.19	35.82	146.06	Cumple				
	Promedio	273.37	2.19	36.27	147.90					

Cuadro 38. Resultados de resistencia a la compresión simple en mortero clase B utilizando: arena de río lavada, cal de Guanacaste

Edad de Falla	Muestra	Peso (g)	Densidad (g/cm ³)	Fuerza (KN)	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Cumple CSCR10	Promedio	Rango	Porcentaje	Cumple ASTM C109
7 días	1	273.1	2.18	22.76	92.80	Cumple	22.86	0.28	1.98853	Cumple
	2	275.36	2.20	23.04	93.94	Cumple				
	3	273.38	2.19	22.77	92.84	Cumple				
	Promedio	273.95	2.19	22.86	93.20	Cumple				
28 días	1	274	2.19	39	159.02	Cumple	39.67	1	3.451	Cumple
	2	278.84	2.23	40	163.10	Cumple				
	3	276.87	2.21	40	163.10	Cumple				

	Promedio	276.57	2.21	39.67	161.74	Cumple
--	----------	--------	------	-------	--------	--------

Cuadro 39. Resultados de resistencia a la compresión simple en mortero clase B utilizando: arena de río lavada, cal de Desamparados

Edad de Falla	Muestra	Peso (g)	Densidad (g/cm ³)	Fuerza (KN)	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Cumple CSCR10	Promedio	Rango	Porcentaje	Cumple ASTM C109
7 días	1	274.74	2.20	17	69.32	No Cumple	17.00	0	1.479	Cumple
	2	274.4	2.20	17	69.32	No Cumple				
	3	275.44	2.20	17	69.32	No Cumple				
	Promedio	274.86	2.20	17.00	69.32	No Cumple				
28 días	1	276.06	2.21	34	138.63	Cumple	34.67	2	3.016	Cumple
	2	273.09	2.18	36	146.79	Cumple				
	3	275.61	2.20	34	138.63	Cumple				
	Promedio	274.92	2.20	34.67	141.35	Cumple				

Cuadro 40. Resultados de resistencia a la compresión simple en mortero clase B utilizando: arena de río lavada, cal de Cartago

Edad de Falla	Muestra	Peso (g)	Densidad (g/cm ³)	Fuerza (KN)	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Cumple CSCR10	Promedio	Rango	Porcentaje	Cumple ASTM C109	% Resistencia a los 28 días
7 días	1	272.19	2.18	12	48.93	No Cumple	12.00	0	1.044	Cumple	38.83
	2	271.91	2.18	12	48.93	No Cumple					38.83
	3	271.4	2.17	12	48.93	No Cumple					38.83
	Promedio	271.83	2.17	12.00	48.93	No Cumple					

28 días	1	269.86	2.16	25	101.94	No Cumple	24.67	1	2.146	Cumple	80.90
	2	271.15	2.17	25	101.94	No Cumple					80.90
	3	271.94	2.18	24	97.86	No Cumple					77.67
	Promedio	270.98	2.17	24.67	100.58	No Cumple					

Cuadro 41. Resultados de resistencia a la compresión simple en mortero clase A utilizando: arena industrial, sin cal

Edad de Falla	Muestra	Peso (g)	Densidad (g/cm ³)	Fuerza (KN)	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Cumple CSCR10	Promedio	Rango	Porcentaje	Cumple ASTM C109
7 días	1	286.9	2.30	34.93	142.43	Cumple	34.87	0.15	3.03369	Cumple
	2	289.4	2.32	34.9	142.30	Cumple				
	3	288.8	2.31	34.78	141.81	Cumple				
	Promedio	288.37	2.31	34.87	142.18	Cumple				
28 días	1	286.95	2.30	66.45	270.95	Cumple	65.49	2.79	5.69734	Cumple
	2	287.91	2.30	63.66	259.57	Cumple				
	3	290.7	2.33	66.35	270.54	Cumple				
	Promedio	288.52	2.31	65.49	267.02	Cumple				

Cuadro 42. Resultados de resistencia a la compresión simple en mortero clase A utilizando: arena industrial, cal de Guanacaste

Edad de Falla	Muestra	Peso (g)	Densidad (g/cm ³)	Fuerza (KN)	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Cumple CSCR10	Promedio	Rango	Porcentaje	Cumple ASTM C109
7 días	1	283.4	2.27	37	150.87	Cumple	37.00	0	3.219	Cumple
	2	284.33	2.27	28	114.17	No Cumple				
	3	286.01	2.29	37	150.87	Cumple				

	Promedio	284.58	2.28	34.00	138.63	Cumple				
28 días	1	285.95	2.29	63	256.88	Cumple	62.25	1.5	4.731	Cumple
	2	285.44	2.28	61.6	251.17	Cumple				
	3	284.69	2.28	61.5	250.76	Cumple				
	Promedio	285.36	2.28	62.03	252.94	Cumple				

Cuadro 43. Resultados de resistencia a la compresión simple en mortero clase A utilizando: arena industrial, cal de Desamparados

Edad de Falla	Muestra	Peso (g)	Densidad (g/cm ³)	Fuerza (KN)	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Cumple CSCR10	Promedio	Rango	Porcentaje	Cumple ASTM C109
7 días	1	284.02	2.27	32	130.48	Cumple	40.50	1	3.078	Cumple
	2	286.3	2.29	41	167.18	Cumple				
	3	284.5	2.28	40	163.10	Cumple				
	Promedio	284.94	2.28	37.67	153.58	Cumple				
28 días	1	283.22	2.27	59.65	243.22	Cumple	60.95	2.15	5.30265	Cumple
	2	284.87	2.28	61.8	251.99	Cumple				
	3	284.93	2.28	61.4	250.36	Cumple				
	Promedio	284.34	2.27	60.95	248.52	Cumple				

Cuadro 44. Resultados de resistencia a la compresión simple en mortero clase A utilizando: arena industrial, cal de Cartago

Edad de Falla	Muestra	Peso (g)	Densidad (g/cm ³)	Fuerza (KN)	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Cumple CSCR10	Promedio	Rango	Porcentaje	Cumple ASTM C109	% Resistencia a los 28 días
7 días	1	281.45	2.25	23.78	96.96	No Cumple	24.20	1.03	2.1054	Cumple	55.41
	2	283.45	2.27	24.01	97.90	No Cumple					55.94

	3	281.27	2.25	24.81	101.16	No Cumple						57.81
	Promedio	282.06	2.26	24.20	98.67	No Cumple						
28 días	1	281.01	2.25	39.88	162.61	No Cumple	41.17	2.1	3.5815	Cumple		92.92
	2	282.31	2.26	41.64	169.79	No Cumple						97.02
	3	283.16	2.27	41.98	171.17	No Cumple						97.81
	Promedio	282.16	2.26	41.17	167.86	No Cumple						

Cuadro 45. Resultados de resistencia a la compresión simple en mortero clase B utilizando: arena industrial, sin cal

Edad de Falla	Muestra	Peso (g)	Densidad (g/cm ³)	Fuerza (KN)	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Cumple CSCR10	Promedio	Rango	Porcentaje	Cumple ASTM C109	% Resistencia a los 28 días
7 días	1	286.97	2.30	19.92	81.22	No Cumple	20.07	0.78	1.74638	Cumple	64.46
	2	284.35	2.27	20.54	83.75	No Cumple					66.47
	3	268.91	2.15	19.76	80.57	No Cumple					63.95
	Promedio	280.08	2.24	20.07	81.85	No Cumple					
28 días	1	288.86	2.31	31.25	127.42	Cumple	31.66	0.82	2.75442	Cumple	101.13
	2	285.69	2.29	30.47	124.24	No Cumple					98.60
	3	284.82	2.28	32.07	130.76	Cumple					103.78
	Promedio	286.46	2.29	31.26	127.48	Cumple					

Cuadro 46. Resultados de resistencia a la compresión simple en mortero clase B utilizando: arena industrial, cal de Guanacaste

Edad de Falla	Muestra	Peso (g)	Densidad (g/cm ³)	Fuerza (KN)	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Cumple CSCR10	Promedio	Rango	Porcentaje	Cumple ASTM C109	% Resistencia a los 28 días
7 días	1	276.98	2.22	15.44	62.96	No Cumple	14.04	0.18	1.06704	Cumple	49.97
	2	276.48	2.21	14.13	57.61	No Cumple					45.73
	3	274.23	2.19	13.95	56.88	No Cumple					45.14
	Promedio	275.90	2.21	14.51	59.15	No Cumple					
28 días	1	278.06	2.22	28	114.17	No Cumple	28.68	1.8	2.49545	Cumple	90.61
	2	278.76	2.23	29.8	121.51	No Cumple					96.44
	3	278.6	2.23	28.25	115.19	No Cumple					91.42
	Promedio	278.47	2.23	28.68	116.96	No Cumple					

Cuadro 47. Resultados de resistencia a la compresión simple en mortero clase B utilizando: arena industrial, cal de Desamparados

Edad de Falla	Muestra	Peso (g)	Densidad (g/cm ³)	Fuerza (KN)	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Cumple CSCR10	Promedio	Rango	Porcentaje	Cumple ASTM C109	% Resistencia a los 28 días
7 días	1	271.94	2.18	12.1	49.34	No Cumple	12.30	0.78	1.0701	Cumple	39.16
	2	273.92	2.19	12.79	52.15	No Cumple					41.39

	3	269.71	2.16	12.01	48.97	No Cumple					38.87
	Promedio	271.86	2.17	12.30	50.15	No Cumple					
28 días	1	280.05	2.24	27.74	113.11	No Cumple	28.60	1.72	2.4882	Cumple	89.77
	2	280.03	2.24	26.64	108.62	No Cumple					86.21
	3	282.64	2.26	29.46	120.12	No Cumple					95.34
	Promedio	280.91	2.25	27.95	113.95	No Cumple					

Cuadro 48. Resultados de resistencia a la compresión simple en mortero clase B utilizando: arena industrial, cal de Cartago

Edad de Falla	Muestra	Peso (g)	Densidad (g/cm ³)	Fuerza (KN)	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Cumple CSCR10	Promedio	Rango	Porcentaje	Cumple ASTM C109	% Resistencia a los 28 días
7 días	1	275.12	2.20	12.23	49.87	No Cumple	12.75	0.81	1.10954	Cumple	39.58
	2	276.39	2.21	13.04	53.17	No Cumple					42.20
	3	278.93	2.23	12.99	52.97	No Cumple					42.04
	Promedio	276.81	2.21	12.75	52.00	No Cumple					
28 días	1	279.28	2.23	27	110.09	No Cumple	27.57	1.54	2.39859	Cumple	87.37
	2	278.47	2.23	27.17	110.78	No Cumple					87.92
	3	279.64	2.24	28.54	116.37	No Cumple					92.36

	Promedio	279.13	2.23	27.57	112.42	No Cumple
--	----------	--------	------	-------	--------	--------------

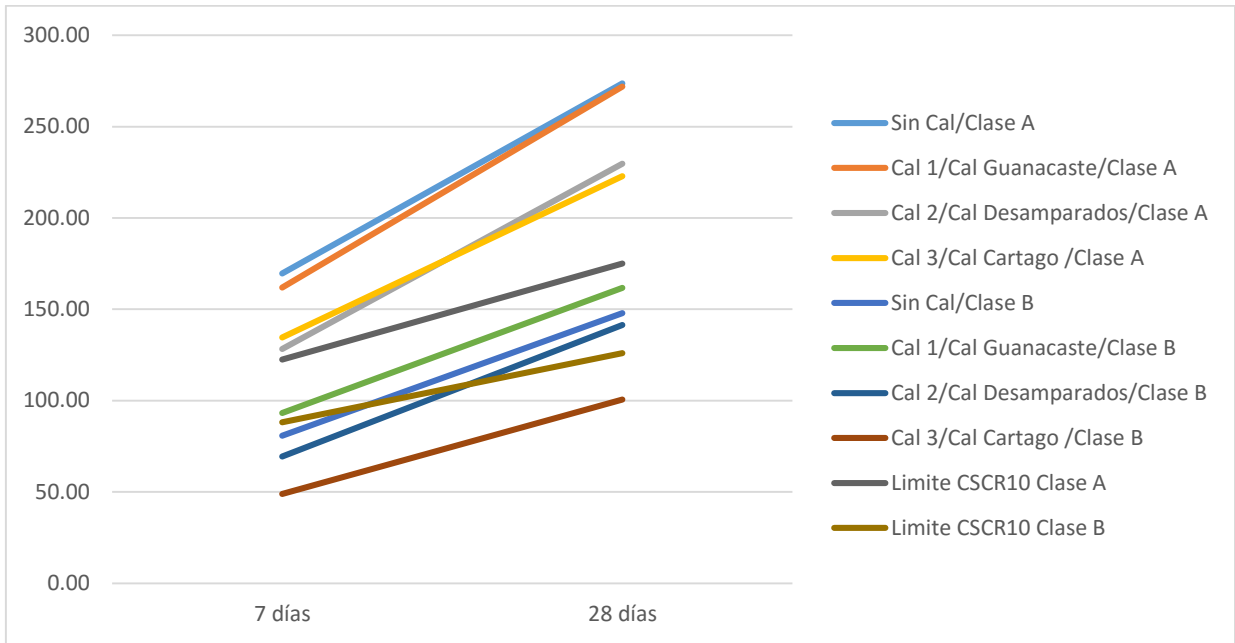


Figura 31. Desarrollo de la resistencia a la compresión en morteros fabricados con arena de río lavada

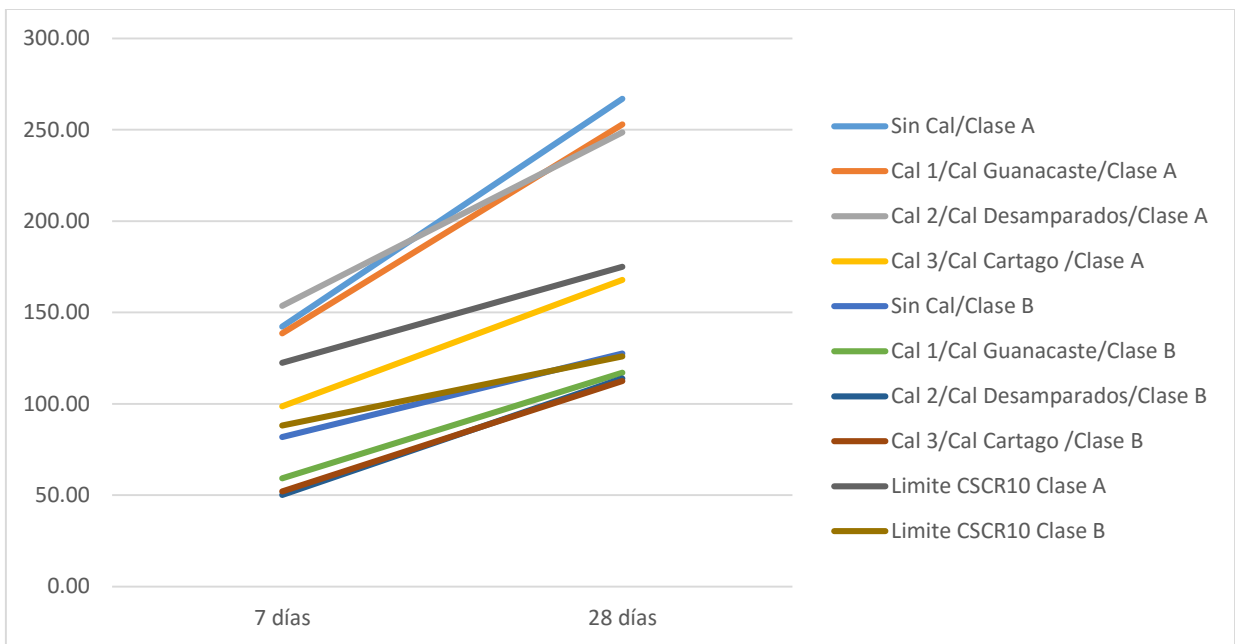


Figura 32. Desarrollo de la resistencia a la compresión en morteros fabricados con arena industrial

6.6. Apéndice F. Datos experimentales bloques de concreto

Cuadro 49. Cálculo área neta para bloques de pared sencilla

N° Muestra	Pesos (g)			Absorción (kg/m ³)	Absorción (%)	Densidad (kg/m ³)	V _n (cm ³)	Altura promedio (mm)	Área Neta (mm ²)	Área Neta (cm ²)
	Sumergido	Saturado	Seco							
A-4	6302.8	11397.1	10503	175.51	8.51	2061.72	5094.3	190.32	26766.32	267.66
A-5	6185.9	11268.3	10359.7	178.77	8.77	2038.35	5082.4	189.93	26758.27	267.58
A-6	6354.7	11442.8	10692	147.56	7.02	2101.37	5088.1	189.94	26787.58	267.87
Promedio	6321.15	11433.8	10555.6	176.59	8.58	2057.25	5112.67	190.07	26770.73	267.71

Cuadro 50. Cálculo área neta para bloques de pared doble

N° Muestra	Pesos (g)			Absorción (kg/m ³)	Absorción (%)	Densidad (kg/m ³)	V _n (cm ³)	Altura promedio (mm)	Área Neta (mm ²)	Área Neta (cm ²)
	Sumergido	Saturado	Seco							
A-1	6756	12218.1	11307.6	166.7	8.1	2070.2	5462.1	191.1	28582.4	285.8
A-2	6906.9	12391.6	11620.8	140.5	6.6	2118.8	5484.7	191.3	28665.1	286.7
A-3	6702.1	12552.5	11172.3	235.9	12.4	1909.7	5850.4	190.9	30646.4	306.5
Promedio	6788.3	12387.4	11366.9	181.0	9.0	2032.9	5599.1	191.1	29298.0	293.0

6.7. Apéndice G. Datos experimentales Rresistencia a la compresión de la mampostería (prismas de mampostería)

Cuadro 51. Resultados de resistencia a la compresión de la mampostería para morteros fabricados con arena de río lavada

Tipo de mortero		Muestra	Fuerza (Kg)	Tipo de Bloque ^(*)	Tipo de falla ^(**)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Cumple CSCR2010
Clase A	Sin Cal	1	26951	D	2	91.99	No Cumple
		2	24290	D	2	82.91	No Cumple
		3	28636	D	4	97.74	No Cumple
		Promedio	26625.7			90.9	No Cumple
		Desviación estándar	2191.2			7.5	
	Cal 1 Cal Guanacaste	1	21349	D	3	72.87	No Cumple
		2	27731	D	3	94.65	No Cumple
		3	24613	D	3	84.01	No Cumple
		Promedio	24564.3			83.8	No Cumple
		Desviación estándar	3191.3			10.9	
	Cal 2 Cal Desamparados	1	20746	D	2	70.81	No Cumple
		2	27675	D	2	94.46	No Cumple
		3	20178	D	2	68.87	No Cumple
		Promedio	22866.3			78.0	No Cumple
		Desviación estándar	4174.1			14.2	
	Cal 3 Cal Cartago	1	25170.36	D	3	85.91	No Cumple
		2	25170.36	D	3	85.91	No Cumple
		3	22222.48	D	2	75.85	No Cumple
Promedio		24187.7			82.6	No Cumple	
Desviación estándar		1702.0			5.8		
Clase B	Sin Cal	1	22380	S	3	83.60	Cumple
		2	24152	S	3	90.22	Cumple
		3	26205	S	4	97.89	Cumple
		Promedio	24245.7			90.6	Cumple
		Desviación estándar	1914.2			7.2	
	Cal 1 Cal Guanacaste	1	22068	S	3	82.43	Cumple
		2	13146	S	2	49.11	No Cumple
		3	18703	S	5	69.86	No Cumple
		Promedio	17972.3			76.1	Cumple

		Desviación estándar	4505.7			16.8	
Cal 2 Cal Desamparados	1		12276	D	5	41.90	No Cumple
	2		12069	D	3	41.19	No Cumple
	3		13890	D	3	47.41	No Cumple
	Promedio		12745.0			43.5	No Cumple
	Desviación estándar		997.0			3.4	
Cal 3 Cal Cartago	1		12728	D	6	43.44	No Cumple
	2		16504	D	3	56.33	No Cumple
	3		31681	D	4	108.13	Cumple
	Promedio		20304.3			69.3	No Cumple
	Desviación estándar		10031.7			34.2	

(*) D: Bloque de concreto de pared doble, S: Bloque de concreto de pared simple

(**) El tipo de falla fue determinado según los establecidos en la norma

Cuadro 52. Resultados de resistencia a la compresión de la mampostería para morteros fabricados con arena industrial

Tipo de mortero		Muestra	Fuerza (Kg)	Tipo de Bloque(*)	Tipo de falla (**)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Cumple CSCR2010
Clase A	Sin Cal	1	27704	D	2	94.56	No Cumple
		2	32833	D	2	112.07	Cumple
		3	32618	D	2	111.33	Cumple
		Promedio	31051.7			106.0	Cumple
		Desviación estándar	2901.2			9.9	
	Cal 1 Cal Guanacaste	1	27438	D	2	93.65	No Cumple
		2	27306	D	2	93.20	No Cumple
		3	32424	D	3	110.67	Cumple
		Promedio	29056.0			99.2	No Cumple
		Desviación estándar	2917.5			10.0	
	Cal 2 Cal Desamparados	1	24784	S	2	92.58	No Cumple
		2	26281	S	2	98.17	No Cumple
		3	20738	S	2	77.47	No Cumple
		Promedio	23934.3			89.4	No Cumple
		Desviación estándar	2867.5			10.7	
	Cal 3 Cal Cartago	1	45919	D	2	156.73	Cumple
		2	34127	D	3	116.48	Cumple

Clase B		3	44332	D	2	151.31	Cumple
		Promedio	41459.3			141.5	Cumple
		Desviación estandar	6399.0			21.8	
	Sin Cal	1	24425	S	2	91.24	Cumple
		2	23203	S	2	86.67	Cumple
		3	21994	S	3	82.16	Cumple
		Promedio	23207.3			86.7	Cumple
		Desviación estandar	1215.5			4.5	
	Cal 1 Cal Guanacaste	1	25930	S	3	96.86	Cumple
		2	19875	S	3	74.24	Cumple
		3	32032	S	3	119.65	Cumple
		Promedio	25945.7			96.9	Cumple
		Desviación estandar	6078.5			22.7	
	Cal 2 Cal Desamparados	1	25117	D	3	85.73	Cumple
		2	30064	D	3	102.61	Cumple
		3	40156	D	2	137.06	Cumple
		Promedio	31779.0			108.5	Cumple
		Desviación estandar	7664.8			26.2	
	Cal 3 Cal Cartago	1	25904	D	2	88.42	Cumple
2		30852	D	3	105.30	Cumple	
3		21291	D	4	72.67	Cumple	
Promedio		26015.7			88.8	Cumple	
Desviación estandar		4781.5			16.3		

(*) D: Bloque de concreto de pared doble, S: Bloque de concreto de pared simple

(**) El tipo de falla fue determinado según los establecidos en la norma

6.8. Apéndice H. Datos experimentales adherencia (cruces de mampostería)

Cuadro 53. Resultados resistencia a cortante de elementos de mampostería fabricados con arena de río lavada

Tipo de mortero		Muestra	Fuerza (KN)	Esfuerzo (kg/cm ²)
Clase A	Sin Cal	1	4.8	2.05
		2	4	1.71
		3	3.39	1.45
		4	3.5	1.50

		Promedio	3.9	1.7
		Desviación estandar	0.6	0.3
	Cal 1/Cal Guanacaste	1	7.21	3.08
		2	11.86	5.07
		3	3.76	1.61
		4	8.07	3.45
		Promedio	7.7	3.3
		Desviación estandar	3.3	1.4
	Cal 2/Cal Desamparados	1	8.8	3.76
		2	5.8	2.48
		3	4.5	1.92
		4	7.6	3.25
		Promedio	6.7	2.9
		Desviación estandar	1.9	0.8
	Cal 3/Cal Cartago	1	4.82	2.06
		2	9.47	4.05
		3	6.29	2.69
		4	2.71	1.16
		Promedio	5.8	2.5
		Desviación estandar	2.8	1.2
Clase B	Sin Cal	1	2.31	0.99
		2	3.05	1.30
		3	4.36	1.87
		4	-	
		Promedio	3.2	1.4
		Desviación estandar	1.0	0.4
	Cal 1/Cal Guanacaste	1	4.49	1.92
		2	3.98	1.70
		3	6.1	2.61
		4	-	
		Promedio	4.9	2.1
		Desviación estandar	1.1	0.5
	Cal 2/Cal Desamparados	1	4.66	1.99
		2	4.41	1.89
		3	5.7	2.44
		4	4.76	2.04
		Promedio	4.9	2.1

	Cal 3/Cal Cartago	Desviación estandar	0.6	0.2
		1	4.84	2.07
		2	5.05	2.16
		3	7.72	3.30
		4	7.32	3.13
		Promedio	6.2	2.7
		Desviación estandar	1.5	0.6

Cuadro 54. Resultados resistencia a cortante de elementos de mampostería fabricados con arena industrial

Tipo de mortero	Muestra	Datos Originales		Datos Corregidos (*)		
		Fuerza (KN)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Fuerza (KN)	Esfuerzo (kg/cm ²)	
Clase A	Sin Cal	1	6.36	2.72	6.36	2.72
		2	8.19	3.50	8.19	3.50
		3	16.42	7.02	16.42	7.02
		4	17.2	7.36	17.2	7.36
		Promedio	12.0	5.2	7.3	3.1
		Desviación estandar	5.6	2.4	1.3	0.6
	Cal 1 Cal Guanacaste	1	12.47	5.33	12.47	5.33
		2	7.22	3.09	7.22	3.09
		3	6.03	2.58	6.03	2.58
		4	9.54	4.08	9.54	4.08
		Promedio	8.8	3.8	7.6	3.2
		Desviación estandar	2.8	1.2	1.8	0.8
	Cal 2 Cal Desamparados	1	5.1	2.18	5.1	2.18
		2	7.15	3.06	7.15	3.06
		3	9.9	4.23	9.9	4.23
		4	4.3	1.84	4.3	1.84
		Promedio	6.6	2.8	8.5	3.6
		Desviación estandar	2.5	1.1	1.9	0.8
	Cal 3 Cal Cartago	1	4	1.71		
		2	5.78	2.47		
		3	7.36	3.15		
		4	6.55	2.80		
		Promedio	5.9	2.5		
		Desviación estandar	1.4	0.6		

Clase B	Sin Cal	1	7.03	3.01	7.03	3.01
		2	0.61	0.26	0.61	0.26
		3	3.7	1.58	3.7	1.58
		4	3.7	1.58	3.7	1.58
		Promedio	3.8	1.6	4.8	2.1
		Desviación estandar	2.6	1.1	1.9	0.8
	Cal 1/Cal Guanacaste	1	4.1	1.75		
		2	7.76	3.32		
		3	-	-		
		4	-	-		
		Promedio	5.9	2.5		
		Desviación estandar	2.6	1.1		
	Cal 2/Cal Desamparados	1	3.06	1.31		
		2	3.35	1.43		
		3	4.37	1.87		
		4	5.38	2.30		
		Promedio	4.0	1.7		
		Desviación estandar	1.1	0.5		
	Cal 3/Cal Cartago	1	3.05	1.30		
		2	5.14	2.20		
		3	4.19	1.79		
4		6.58	2.81			
Promedio		4.7	2.0			
Desviación estandar		1.5	0.6			

(*) Los datos eliminados son aquellos que se encuentran sombreados en verde

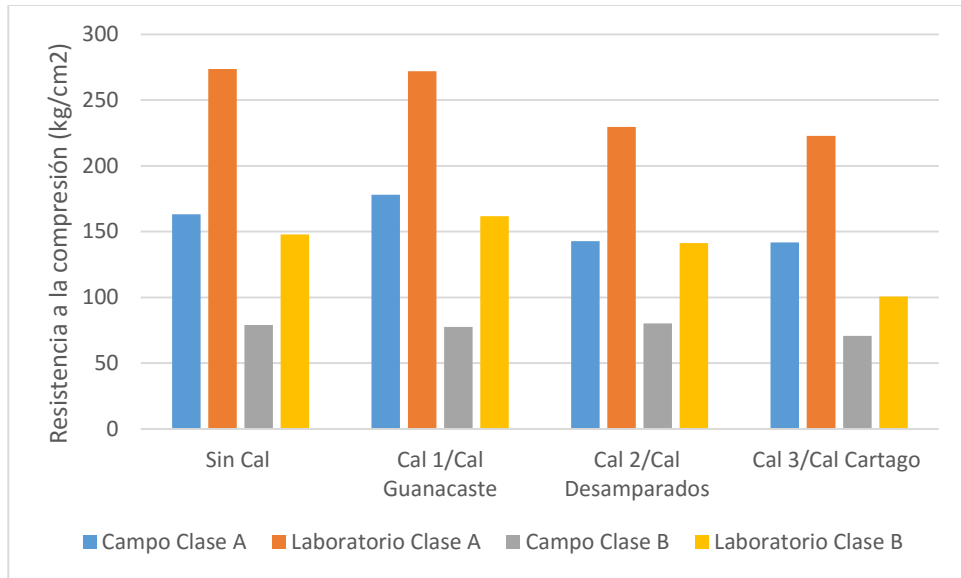


Figura 33. Comparación de resultados de cubos de mortero realizados en condiciones de laboratorio y campo para morteros fabricados con arena de río lavada, cruces de mampostería

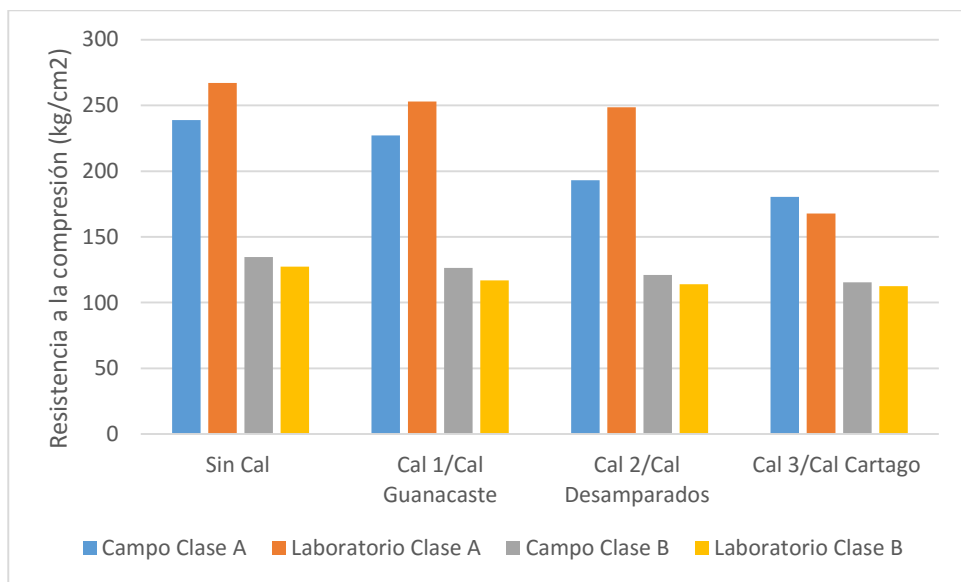


Figura 34. Comparación de resultados de cubos de mortero realizados en condiciones de laboratorio y campo para morteros fabricados con arena industrial, cruces de mampostería