



**UNIVERSIDAD MICHOCANA DE SAN
NICOLÁS DE HIDALGO**

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



Tesis profesional

**“COMPARACIÓN Y EVALUACIÓN DE MORTEROS ESTRUCTURALES, NO
ESTRUCTURALES Y ADHESIVOS A BASE DE CEMENTANTES
HIDRÁULICOS, CON ADICIONES ORGÁNICAS MODIFICADAS”**

Que para obtener el título de:

INGENIERO CIVIL

Presenta:

CARLOS ADRIÁN DÍAZ ÁVILA

Director de tesis:

DRA. ELIA MERCEDES ALONSO GUZMÁN

Co Director Interno de tesis:

M. en C. ROSALÍA RUIZ RUIZ

Co Director Externo de tesis:

Dr. José Iván Escalante García

Morelia, Michoacán, octubre del 2021



RESUMEN

La presente investigación aborda el estudio de diferentes tipos de morteros para uso en construcción, los cuales fueron modificados con adiciones, principalmente orgánicas. Se elaboraron morteros estructurales con relación agua/cemento en peso de 0.645 y relación cemento/arena en peso de 2.75, adicionados con mucílago de nopal extraído por exudación del cladodio y mucílago de nopal anhidro, en proporciones Agua:Cladodio en peso de 1:3 y 1:4; morteros especiales, es decir, morteros con características específicas de trabajabilidad, tiempo en estado fresco, adherencia, etc., para que cumplan una función específica, tal es el caso de los morteros no estructurales y adhesivos. Los morteros no estructurales y adhesivos se elaboraron con una relación cemento/agregado de 1:2.5, relaciones agua/cementos variables y diferentes adiciones. Todos los morteros fueron evaluados mediante pruebas en estado fresco y endurecido (mecánicas) y comparados con un mortero testigo, a edades de 7 y 28 días para los morteros estructurales, y los morteros no estructurales y adhesivos a 28 días.

Palabras clave: Mucílago, adiciones, adhesivos, estructurales, no estructurales.



ABSTRACT

This research addresses the study of different types of mortars for use in construction, which were modified with additions, mainly organic. Structural mortars were elaborated with water/cement ratio in weight of 0.645 and cement/sand ratio in weight of 2.75, added with nopal mucilage, which is extracted by exudation of cladode and anhydrous nopal mucilage, in water:cladode proportions of 1:3 and 1:4 by ; special mortars, that is, mortars with specific characteristics of workability, setting times, adherence, etc., so that they fulfill a specific function, such is the case of non-structural and adhesives mortars. The non-structural and adhesives mortars were made with a cement/aggregate ratio of 1:2.5, variable water/cement ratios and different additions. All mortars were evaluated by tests in fresh and hardened state (mechanical) and compared with a control, at ages of 7 and 28 days.

Palabras clave: Mucilage, additions, adhesives, structural, non-structural.



ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|---|----|
| Índice de tablas | 8 |
| Índice de figuras | 8 |
| Dedicatorias | 11 |
| Agradecimientos | 11 |
| Introducción | 13 |
| 1. Estado del arte | 18 |
| 2. Marco teórico | 21 |
| 2.1. Cemento | 21 |
| 2.1.1. Industrialización | 22 |
| 2.1.2. Clasificación según la norma mexicana NMX-C-414-ONNCCE-2017. | 23 |
| 2.1.2.1. Según su composición | 23 |
| 2.1.2.2. Según su resistencia | 24 |
| 2.1.2.3. Según sus características especiales | 25 |
| 2.1.2.4. Tipos de cementos portland | 25 |
| 2.1.3. Propiedades del cemento portland | 26 |
| 2.1.3.1. Físicas | 26 |
| 2.1.3.2. Químicas | 26 |
| 2.1.3.3. Mecánicas | 27 |
| 2.1.4. Cemento empleado en la investigación | 27 |
| 2.2. Agregados | 27 |
| 2.2.1. Origen | 29 |
| 2.2.2. Propiedades | 29 |
| 2.2.2.1. Físicas | 29 |
| 2.2.2.2. Químicas | 30 |
| 2.2.2.3 Mecánicas | 30 |
| 2.2.3. Agregados empleados en la investigación | 30 |
| 2.3. Agua de mezclado | 31 |
| 2.3.1. Especificaciones | 32 |
| 2.3.2. Agua empleada en la investigación | 32 |
| 2.4. Adiciones al mortero en estudio | 33 |



| | |
|--|----|
| 2.4.1. Mucílago de nopal | 34 |
| 2.4.1.1. Tipos y usos | 35 |
| 2.4.1.2. Nopal empleado en la investigación | 36 |
| 2.4.2. Almidón de maíz modificado | 37 |
| 2.4.2.1. Tipos y usos | 38 |
| 2.4.2.2. Almidón empleado en la investigación | 40 |
| 2.4.3. Surfactante | 41 |
| 2.4.3.1. Tipos y usos | 41 |
| 2.4.3.2. Surfactante empleado en la investigación | 43 |
| 2.4.4. Ácido cítrico | 43 |
| 2.5. Otras adiciones empleadas al mortero | 44 |
| 2.5.1. Espesante celulósico | 44 |
| 2.5.1.1. Tipos y usos | 44 |
| 2.5.1.2. Espesante empleado en la investigación | 45 |
| 2.5.2. Reductor de agua | 46 |
| 2.5.2.1. Tipos y usos | 47 |
| 2.5.2.2. Reductor de agua empleado en la investigación | 48 |
| 2.5.3. Resina | 49 |
| 2.5.3.1. Tipos y usos | 50 |
| 2.5.3.2. Resina empleada en la investigación | 52 |
| 3. Procedimiento experimental | 52 |
| 3.1. Caracterización de los materiales | 52 |
| 3.1.1. Cemento portland | 52 |
| 3.1.1.1. Densidad | 52 |
| 3.1.1.2. Consistencia | 55 |
| 3.1.1.3. Tiempos de fraguado | 57 |
| 3.1.2. Arena | 59 |
| 3.1.2.1. Muestreo y cuarteo | 59 |
| 3.1.2.2. Humedad de absorción | 62 |
| 3.1.2.3. Masa volumétrica seca y suelta (MVSS) | 65 |
| 3.1.2.4. Masa volumétrica seca y varillada (MVSV) | 66 |



| | |
|--|-----|
| 3.1.2.5. Análisis granulométrico | 67 |
| 3.1.2.6. Densidad | 71 |
| 3.2. Preparación de las adiciones empleadas a los morteros | 72 |
| 3.2.1. Mucílago de nopal | 73 |
| 3.2.2. Almidón modificado | 76 |
| 3.2.3. Surfactante derivado del aceite de coco | 78 |
| 3.2.4. Surfactante lauril sulfato de sodio | 78 |
| 3.2.5. Ácido cítrico | 79 |
| 3.2.6. Espesante celulósico | 79 |
| 3.2.7. Reductor de agua | 79 |
| 3.2.8. Resina | 79 |
| 3.3. Pruebas al mortero fresco | 80 |
| 3.3.1. Fluidez | 80 |
| 3.3.2. Ph | 82 |
| 3.3.3. Temperatura | 83 |
| 3.3.4. Tiempo abierto | 83 |
| 3.3.5. Deslizamiento | 85 |
| 3.4. Elaboración de especímenes de pruebas | 87 |
| 3.4.1. Probetas cúbicas | 89 |
| 3.4.2. Probetas prismáticas | 90 |
| 3.4.3. Briquetas | 91 |
| 3.4.4. Cilindros | 92 |
| 3.5. Descimbrado y curado de especímenes | 93 |
| 3.6. Pruebas al mortero endurecido | 96 |
| 3.6.1. Pruebas no destructivas | 96 |
| 3.6.1.1. Resistividad eléctrica | 96 |
| 3.6.1.2. Módulo de elasticidad dinámico | 99 |
| 3.6.1.3. Densidad | 101 |
| 3.6.2. Pruebas destructivas | 103 |
| 3.6.2.1. Compresión simple | 103 |
| 3.6.2.2. Flexión | 104 |



| | |
|---|-----|
| 3.6.2.3. Tensión directa | 106 |
| 3.6.2.4. Adherencia | 108 |
| 4. Resultados y discusiones | 111 |
| 4.1. Agua | 111 |
| 4.1.1. Especificaciones | 111 |
| 4.2. Caracterización de los materiales | 112 |
| 4.2.1. Cemento portland | 112 |
| 4.2.1.1. Densidad | 112 |
| 4.2.1.2. Consistencia | 113 |
| 4.2.1.3. Tiempos de fraguado | 113 |
| 4.G2. Arena | 114 |
| 4.G2.1. Análisis granulométrico | 115 |
| 4.3. Pruebas al mortero fresco | 117 |
| 4.3.1. Fluidéz | 117 |
| 4.3.2. Ph y Temperatura | 119 |
| 4.3.3. Tiempo abierto y deslizamiento | 119 |
| 4.4. Pruebas al mortero endurecido | 121 |
| 4.4.1. Pruebas no destructivas | 121 |
| 4.4.1.1. Resistividad eléctrica | 121 |
| 4.4.1.2. Módulo de elasticidad dinámico | 123 |
| 4.4.2. Pruebas destructivas | 123 |
| 4.4.2.1. Compresión simple | 123 |
| 4.4.2.2. Flexión | 127 |
| 4.4.2.3. Tensión directa | 128 |
| 4.4.2.4. Adherencia | 131 |
| 5. Conclusiones | 134 |
| 6. Bibliografía | 137 |



Índice de tablas

| | |
|---|-----|
| <i>Tabla 1. Clases resistentes de los cementos portland.</i> (ITM, 2002) | 24 |
| <i>Tabla 2. Características especiales de los cementos portland.</i> (ITM, 2002)..... | 25 |
| <i>Tabla 3. Tipos de cementos.</i> (ASTM-C-150-02., 2016) | 25 |
| Tabla 4. Especificaciones de agua para concreto. (NMX-C-122-ONNCCE-2004). | 32 |
| Tabla 5. Tabla de cálculo de curva granulométrica para arenas. (Sánchez, 2011) | 68 |
| Tabla 6. Granulometría recomendada para morteros. (NMX-C-529-ONNCCE, 2017) | 69 |
| Tabla 7. Adiciones empleadas en cada tipo de mortero. (C. A. Díaz Ávila)..... | 72 |
| Tabla 8. Identificación de cada mezcla por su uso. (C. A. Díaz Ávila)..... | 88 |
| Tabla 9. Tiempo de descimbrado de los especímenes. (C. A. Díaz Ávila) | 94 |
| Tabla 10. Clasificación de probabilidad de corrosión según la NMX-C-514-ONNCCE-2016. | 99 |
| <i>Tabla 11. Estudios del agua elaborados por el Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la UMSNH.</i> | 112 |
| Tabla 12. Densidad del cemento usado en la investigación (C. A. Díaz Ávila).... | 113 |
| Tabla 13. Consistencia normal en mezclas de uso estructural (C. A. Díaz Ávila) | 113 |
| Tabla 14. Tiempo de fraguado en mezclas de uso estructural. (C. A. Díaz Ávila) | 114 |
| Tabla 15. Caracterización del agregado pétreo. (C. A. Díaz Ávila)..... | 114 |
| Tabla 16. Fluidez en morteros estructurales adicionados con mucílago de nopal. (C. A. Díaz Ávila) | 118 |
| Tabla 17. Fluidez en morteros no estructurales. (C. A. Díaz Ávila) | 118 |
| Tabla 18. Fluidez en morteros no adhesivos. (C. A. Díaz Ávila)..... | 118 |
| Tabla 19. pH y temperatura en las mezclas de mortero en estado fresco. (C. A. Díaz Ávila)..... | 119 |
| Tabla 20. Tiempo abierto y deslizamiento en mezclas adhesivas. (C. A. Díaz Ávila) | 120 |

Índice de figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1. “Industria del cemento” (CEMEX, 2021)..... | 23 |
| Figura 2. Agregados pétreos. (Concretos Técnicos, 2016) | 29 |
| Figura 3. Banco El Coro, Zinapécuaro. (C. A. Díaz Ávila) | 31 |
| Figura 4. Mucílago de nopal (Cactus Power México, 2020) | 35 |
| Figura 5. Modificaciones química y bioquímica del almidón. (Johanna Aristizábal, 2007) | 37 |
| Figura 6. a) Almidón modificado anhidro (Dextrina amarilla o canaria) y b) dextrina hidratada. (C. A. Díaz Ávila)..... | 41 |
| Figura 7. Clasificación de tensoactivos (Curiosando, 2017)..... | 42 |



| | |
|---|-----|
| Figura 9. . Carboximetil celulosa Deiman. (C. A. Díaz Ávila)..... | 45 |
| Figura 10. Reductores de agua en partículas del cemento. (Sika) | 48 |
| Figura 11. Reductor de agua anhidro naftaleno sulfatano de sodio. (C. A. Díaz Ávila) | 49 |
| Figura 12. Resistol 850 a base de resina vinílica (PVA). (Henkel, 2021)..... | 52 |
| Figura 13. a) Frasco de Le Chatelier con reactivo y b) Frasco de Le Chatelier con cemento y reactivo. (C. A. Díaz Ávila)..... | 54 |
| Figura 14. Consistencia normal en aparato de Vicat. (C. A. Díaz Ávila)..... | 57 |
| Figura 15. Aparato de Gillmore. (C. A. Díaz Ávila) | 59 |
| Figura 16. Cuarteo de marmolina por divisor de muestras. (C. A. Díaz Ávila) | 62 |
| Figura 17. Arena seca superficialmente (C. A. Díaz Ávila)..... | 64 |
| Figura 18. Juego de mallas en raf-top. (C. A. Díaz Ávila)..... | 67 |
| Figura 19. Granulometría recomendada para morteros (NMX-C-486-ONNCCE-2014) | 70 |
| Figura 20. Material retenido en cada malla. (C. A. Díaz Ávila) | 70 |
| Figura 21. Nopal cortado y puesto su respectiva agua para proceder a ponerlo en cocción. (C. A. Díaz Ávila) | 74 |
| Figura 22. Mucílago de nopal cuajado con alcohol 96°, y filtrado para su posterior secado. (C. A. Díaz Ávila)..... | 75 |
| Figura 23. Mucílago de nopal anhidro y molido en mortero de ágata. (C. A. Díaz Ávila)..... | 76 |
| Figura 24. a) Fluidez en mortero adhesivo, y b) Fluidez en mortero con mucílago de nopal (C. A. Díaz Ávila)..... | 82 |
| Figura 25. pH en la mezcla de mortero. (C. A. Díaz Ávila) | 82 |
| Figura 26. Tiempo abierto de una mezcla adhesiva. (CONSTRUADITIVOS, 2021) | 85 |
| Figura 27. Deslizamiento de loseta cerámica adherida con mortero. (C. A. Díaz Ávila)..... | 87 |
| Figura 28. Elaboración de especímenes (C. A. Díaz Ávila)..... | 88 |
| Figura 29. Compactación en cubos por capa. (NMX-C-061-ONNCCE, 2015)..... | 89 |
| Figura 30. Elaboración de prismas (C. A. Díaz Ávila)..... | 91 |
| Figura 31. Fabricación de briquetas. (C. A. Díaz Ávila)..... | 92 |
| Figura 32. Proceso de elaboración de cilindros de mortero. (C. A. Díaz Ávila)..... | 93 |
| Figura 33. Curado de especímenes de mortero con mucilago de nopal. (C. A. Díaz Ávila)..... | 95 |
| Figura 34. Resistividad eléctrica real (NMX-C-514-ONNCE, 2016)..... | 96 |
| Figura 35. Resistividad eléctrica aparente (NMX-C-514-ONNCE, 2016)..... | 97 |
| Figura 36. Resistividad eléctrica aparente (NMX-C-514-ONNCE, 2016)..... | 97 |
| Figura 37. Cilindros cabeceados con azufre. (C. A. Díaz Ávila) | 100 |
| Figura 38. Cilindro en prensa hidráulica, con medidor de deformaciones instalado. (C. A. Díaz Ávila) | 101 |



| | |
|---|-----|
| Figura 39. Prisma instalado en prensa hidráulica para aplicar flexión. (C. A. Díaz Ávila)..... | 105 |
| Figura 40. Falla deseada en los especímenes. (C. A. Díaz Ávila)..... | 106 |
| Figura 41. Prueba de tensión directa en briquetas. (C. A. Díaz Ávila)..... | 107 |
| Figura 42. Repello en vigas de concreto con cuchara de albañilería. (C. A. Díaz Ávila)..... | 108 |
| Figura 43. Tipos de fallas de adherencia en cerámicos adheridos con mortero. (NMX-C-420-1-ONNCCE, 2017)..... | 110 |
| Figura 44. a) Instalación de Dólís con resina epóxica para prueba de adherencia y b) Equipo pull-off instalado en los Dólís para hacer prueba de adherencia. (C. A. Díaz Ávila) | 111 |
| Figura 45. Análisis granulométrico de la marmolina empleada en morteros adicionados con mucílago de nopal (Uso estructural). (C. A. Díaz Ávila)..... | 115 |
| Figura 46. Análisis granulométrico de la arena blanca. (C. A. Díaz Ávila)..... | 116 |
| Figura 47. Análisis granulométrico de la marmolina. (C. A. Díaz Ávila)..... | 116 |
| Figura 48. Análisis granulométrico de la arena de sílice. (C. A. Díaz Ávila) | 117 |
| Figura 49. Resistividad eléctrica en cubos (C. A. Díaz Ávila)..... | 122 |
| Figura 50. Resistividad eléctrica en cilindros (C. A. Díaz Ávila) | 122 |
| Figura 51. Módulo de elasticidad en mortero adicionado con mucílago de nopal. (C. A. Díaz Ávila)..... | 123 |
| Figura 52. Resistencia a la compresión simple en cubos de mortero con mucílago de nopal. (C. A. Díaz Ávila)..... | 124 |
| Figura 53. Resistencia a la compresión simple en cilindros de mortero con mucílago de nopal. (C. A. Díaz Ávila)..... | 124 |
| Figura 54. Resistencia a la compresión simple en cubos en morteros de uso no estructural a 28 días. (C. A. Díaz Ávila) | 126 |
| Figura 55. Resistencia a la compresión simple en cubos en morteros de uso adhesivo a 28 días. (C. A. Díaz Ávila)..... | 127 |
| Figura 56. Resistencia a la flexión en morteros con mucílago de nopal. (C. A. Díaz Ávila)..... | 128 |
| Figura 57. Resistencia a la tensión directa en briquetas de mortero con mucílago de nopal. (C. A. Díaz Ávila)..... | 129 |
| Figura 58. Resistencia a la tensión directa en briquetas de mortero de uso no estructura a 28 días. (C. A. Díaz Ávila)..... | 130 |
| Figura 59. Resistencia a la tensión directa en briquetas de morteros adhesivos a 28 días. (C. A. Díaz Ávila)..... | 131 |
| Figura 60. Prueba de adherencia tipo pull-off en condiciones estándar en morteros de mezclas adhesivas a 28 días. (C. A. Díaz Ávila) | 133 |
| Figura 61. Prueba de adherencia tipo pull-off en morteros de mezclas adhesivas, en inmersión de agua a 28 días. (C. A. Díaz Ávila)..... | 133 |



Dedicatorias

A Dios, por permitirme el concluir una licenciatura y junto con ello este trabajo de investigación, por la Fe que tengo hacia el poder hacer de las cosas.

A mis padres, Bertha Ávila Cerriteño y Armando Díaz Mendoza, que siempre estuvieron al pendiente y apoyándome en todos momentos en especial en el tema de educación, por la confianza, sus consejos y experiencia depositados en mí.

A mis familiares y amigos que siempre estuvieron al pendiente y no me dejaban solo, la confianza y ánimos que me brindaban.

A la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, en especial a sus colaboradores que estuvieron en conjunto conmigo de una buena manera, y que por ellos tuve nuevas experiencias y habilidades.

Este logro no es solo mío, es todos los mencionados anteriormente.

Agradecimientos

A Dios, por permitir llegar hasta aquí, y darme las fuerzas de seguir adelante día tras día.

A mis padres, por forjarme desde la infancia para saber cómo actuar ante diversas situaciones y no quedarme atrás en el camino, por su paciencia y apoyo en todos los sentidos.

A mi asesora, Dra. Elia Mercedes Alonso Guzmán, que fue una de las primeras personas con la que tuve el placer de obtener conocimientos de la carrera y la motivación que brinda de seguir adelante y estar activos siempre. Por sus recomendaciones y/o sugerencias, apoyo moral y paciencia que me brinda.



Al Dr. Wilfrido Martínez Molina, que fue el principal vínculo para empezar esta investigación, y todas las facilidades, paciencia, disposición y apoyo que me brindó.

A la M. en C. Rosalía Ruiz Ruiz, por acompañarme tras varios días de redacción de este documento, su apoyo y dedicación que tuvo conmigo, por sus consejos y sugerencias.

A la Maestra Sandra del Carmen Arguello Hernández, que a mi perspectiva es pilar importante en el Laboratorio de Materiales “Ing. Luis Silva Ruelas”, por siempre estar al pendiente de todo mundo, en especial de los tesisistas y el profesionalismo que tiene.

Al personal del Laboratorio de Materiales “Ing. Luis Silva Ruelas”, de todos los departamentos, en especial de resistencia y corrosión, que juntos somos uno mismo y se tiene el apoyo de unos a otros por igual, desde los jefes de departamento, técnicos, hasta los prestadores de servicio que siempre estaban en la mejor disposición de apoyar.

Al Dr. Iván Escalante García, del CINVESTAV, Unidad Saltillo, por su conocimiento del tema de Cementos.

A todos, los que estuvieron en esta etapa de mi vida que, si no se mencionan por escrito en este documento, no es por menos importante, gracias a todos.



Introducción

En la construcción existen muchos tipos de morteros a base de cementantes hidráulicos y por ende tienen diferentes aplicaciones. Un mortero de este tipo está constituido principalmente por cemento portland como soluto, agregados pétreos finos (arena) y agua como solvente; sin embargo, existen morteros con adiciones, sustituciones y el uso de aditivos de uno o varios compuestos para mejorar ciertas propiedades y destinarlo a un uso en específico.

En el presente trabajo de investigación se estudiaron 3 tipos de morteros a base de cementantes hidráulicos que son: morteros de uso estructural, morteros no estructurales y morteros adhesivos, de los cuales se derivan muchos tipos de los mismos.

Para morteros de uso estructural se trabajó con una adición de mucílago de nopal, continuando con previas investigaciones sobre uso de este polisacárido, donde se presentan mejoras en las propiedades de los morteros; sin embargo, el mucílago es un líquido que se fermenta de una manera rápida dificultando su uso comúnmente, por lo que, con la finalidad de tener un producto más práctico en la construcción, además de trabajar con mucílago de nopal en forma líquida, se pulverizó y deshidrató para comparar si se aportan las mismas características al adicionarlo a las mezclas de mortero.

En el caso de morteros no estructurales se incluyen adiciones a base de almidón de maíz modificado (dextrina) como modificador reológico, ácido cítrico como dispersante, un derivado del aceite de coco como surfactante aniónico, un espesante celulósico y un reductor de agua. Todos estos componentes se



incorporan con fines de mejorar la trabajabilidad, adhesividad, entre otras propiedades características de los morteros, las cuales serán abordadas a mayor detalle en este documento.

Por último, en caso de los morteros adhesivos se incluirán las mismas adiciones que los morteros no estructurales a excepción del derivado del aceite de coco que se sustituye por lauril sulfonato de sodio como surfactante aniónico y además se agrega una resina que es alcohol polivinílico como adición, usando diferentes porcentajes de éstos para las diferentes pruebas, según su respectiva normativa.

En este trabajo de investigación se pretende trabajar con materiales orgánicos en la mayoría de las adiciones de los diferentes morteros antes mencionados; sin embargo, se tuvo que hacer uso de algunas adiciones inorgánicas para el caso de los dos últimos tipos de morteros mencionados anteriormente. Todas las pruebas de este trabajo de investigación se basan en la normativa mexicana vigente de la ONNCCE, buscando obtener un producto que mejore las mezclas de morteros usadas para fines constructivos usando en su mayoría materias orgánicas fáciles de conseguir e inhibir el uso de aditivos sintéticos que, además no son locales y muchos de estos aditivos son importados, aumentando su costo por todo el proceso necesario para su adquisición, incremento en los tiempos y la contaminación que se genera en el proceso.

Planteado el problema se presentan las siguientes preguntas de investigación.



- 1. ¿Cuál es el efecto del uso de mucílago de nopal anhidro en morteros estructurales?**
- 2. ¿Cómo afectan las adiciones orgánicas propuestas a los morteros no estructurales y adhesivos?**
- 3. ¿Es factible el uso de estas adiciones en la práctica de la construcción?**

Los objetivos con los que se trabajará en esta investigación son:

Objetivo general.

- **Conocer si es factible el uso de adiciones orgánicas locales en morteros para fines de construcción, cumpliendo con la normativa mexicana correspondiente del ONNCCE, ahora llamados estándares de calidad.**

Objetivos específicos.

- **Dar a conocer el efecto que genera el uso de nuevas adiciones en morteros para continuar con futuras investigaciones.**
- **Analizar cuál es la mejor proporción del uso de mucílago de nopal de forma líquida.**
- **Determinar si el uso del mucílago de nopal anhidro aporta mejoras, a los morteros en estado fresco y/o endurecido comparado contra la adición del mucílago en estado líquido.**



Justificación

“Los opuntias de México presentan la diversidad genética más amplia y el más alto consumo del mundo (Reyes Agüero et al., 2005). Las principales especies cultivadas son. *O. ficus-indica*, *O. xoconoxtle*, *O. megacantha* y *O. streptacantha*. Adicionalmente *O. robusta*, *O. leucotricha*, *O. hyptiacantha* y *O. chaveña* son cosechadas de poblaciones silvestres de nopal de zonas semiáridas con suelos pobres, que cubren casi 3 millones de hectáreas de los estados de: Sonora, Baja California Norte y Sur, Sinaloa, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Durango, Zacatecas, San Luis Potosí, Jalisco, Guanajuato, Querétaro e Hidalgo.” (ONUAA, 2018)

“El almidón es un derivado de diferentes cereales y tubérculos, para fines de adición orgánica de este polisacárido se usará el almidón nativo del maíz, siendo México uno de los principales productores de maíz., México es el centro de origen del maíz. Aquí se concentra, muy probablemente, la mayor diversidad de maíz del mundo y aquí han evolucionado y viven sus parientes silvestres, los teocintles, y otro conjunto de gramíneas relacionadas, especies del género *Tripsacum* (maicillos).” (Anderson, 2020)

Esta investigación es conveniente, pertinente, comprometida con los objetivos de la ONU, por el aporte que podría dar al uso de adiciones orgánicas locales para mejorar, economizar o sustituir en una parte de los componentes usados en morteros a base de cemento portland, por otro lado, también es un beneficio la generación del conocimiento acerca del comportamiento del uso de



estas adiciones para posibles futuras investigaciones y tener una mejor base preliminar en el uso de las adiciones propuestas.

Con los resultados de esta investigación se obtendrán conclusiones y/o recomendaciones acerca del uso de adiciones, a diferentes concentraciones, nuevas pruebas a proponer y un sin fin de posibilidades de experimentación cumplan o no con el uso destinado, ya que es una investigación prácticamente nueva y está abierta a seguir estudiando el tema.

Hipótesis

La hipótesis con la que se trabajará en este proyecto de investigación es: **El uso de adiciones orgánicas incrementa las prestaciones para diferentes tipos y usos de los morteros de construcción, y es factible el uso de adiciones orgánicas parcial o totalmente como sustituto de aditivos sintéticos.**



1. Estado del arte

La industria de la construcción sigue en constante crecimiento y con ello incrementa la demanda de materiales como: mortero y concreto entre otros. Aunado al incremento de la demanda, se busca mejorar las propiedades, costo e impacto ambiental que tienen los materiales mediante la innovación, ya sea incorporando adiciones suplementarias y/o aditivos, los cuales pueden ser orgánicos e inorgánicos. El mucílago de nopal tiene una gran variedad de aplicaciones en diferentes industrias como en el área de la salud, tratamiento de aguas contaminadas, construcción y pinturas, agricultura, alimenticia, etc. En los últimos años ha sido estudiado como adición en morteros y concretos. Enseguida se resumen algunos de los estudios acerca de incorporación de nopal como modificador de propiedades de morteros y/o concretos.

Por un lado, (Leon, 2017) estudió morteros estructurales adicionados con mucílago de nopal con relaciones kg de nopal: L de líquido de amasado de 1:2 y 1:3, los cuales fueron comparados con un mortero control. Su estudio incluyó ensayos en estado fresco y endurecido para determinar propiedades mecánicas y de durabilidad, a edades de tempranas y tardías. Los principales hallazgos indican que la incorporación de esta adición mejoró la trabajabilidad en estado fresco y la resistencia mecánica superó al control a edades tardías (después de 90 días), esto último fue atribuido al proceso de hidratación del mucílago con el cemento hidráulico. Se encontró que el mortero con adición de mucílago de nopal 1:3 presentó los mejores resultados.



Por otro lado, (A.A. Torres Acosta y otros., 2017) investigaron el uso de mucílago de nopal y fibras de nopal deshidratado como adiciones en diferentes porcentajes para su uso en concretos como posible mejorador de propiedades como la porosidad y resistencia mecánica, y por ende la durabilidad de éstos. La experimentación consistió en ensayos de resistencia a la compresión, resistividad eléctrica húmeda, velocidad de pulso ultrasónico, así como porcentaje de vacíos y capilaridad mediante el método de Fagerlund, a diferentes edades de prueba hasta los 180 días. Los resultados indican que el uso de mucílago de nopal exudado en concretos presentó las propiedades más favorables en comparación con las fibras de nopal deshidratado y el concreto control. Sin embargo, se recomienda ampliar el estudio hasta 360 días.

(Vargas Rodríguez Lorena, 2016) reportó el comportamiento de la viscosidad del mucílago de nopal respecto a diferentes temperaturas y concentraciones. Dentro de los hallazgos de su investigación presenta diferentes porcentajes de rendimiento de la extracción de mucílago nopal del cladodio que varían en función de la edad y el tipo de este último, así como la técnica de deshidratado del mismo. Concluye que cuando se tienen nopales jóvenes se extrae un menor porcentaje de mucílago y este es menos viscoso. Además, reporta un porcentaje promedio de 2.56% de rendimiento de la extracción de mucílago de nopal.

Tomando en cuenta los estudios citados en esta sección, el presente trabajo de investigación toma como referencia la mejor proporción kg de nopal:L de líquido de amasado reportada por (Leon, 2017), y además se incluye una nueva relación de 1:4, así como morteros con mucílago de nopal anhidro en iguales proporciones a las antes mencionadas, y una mezcla testigo, cabe mencionar que se pretende



trabajar solo con el mucílago del nopal, se tratará de eliminar la mayor cantidad de fibra posible, según lo reportado por (A.A. Torres Acosta y otros., 2017) el uso de la fibra es factible a edades tempranas pero la fibra se degrada y a edades tardías se empiezan a observar resultados más bajos que la mezcla testigo. Con este nuevo estudio se pretende contribuir a encontrar una relación óptima en el uso de mucílago de nopal en mezclas de morteros o concretos elaborados con cemento portland, y además se pretende evaluar el uso de esta adición orgánica de manera anhidra, pulverizándola de una manera similar a lo realizado por la investigación de Vargas Rodríguez y otros (2016) para analizar si se tienen las mismas, superiores o inferiores propiedades que la mezcla control y el uso de la adición sin una previa deshidratación. Esto para fomentar el uso de una manera más factible en la construcción ya que al extraer el mucílago debe de ser usado de manera inmediata por la rápida velocidad de fermentación que tiene.

Por otra parte, leer estos estudios, que prácticamente están enfocadas en el uso de nopal se llega al interés de fomentar el uso de adiciones orgánicas en morteros que requieren de muchos aditivos, es decir también se pretende estudiar el uso de otras adiciones en morteros de uso no estructural y mezclas adhesivas, que requieren propiedades características y estas se logran con diferentes aditivos, por lo que se estudiaron posibles sustituciones a estos aditivos, por adiciones orgánicas.



2. Marco teórico

2.1. Cemento

Se entiende por cemento a partículas sólidas muy finas que reaccionan con el agua y tiene como finalidad ser un conglomerante en la elaboración de morteros y concretos. Otras formas de definirlo son:

Material inorgánico finamente pulverizado que, bajo ciertas condiciones, tiene la propiedad de fraguar y endurecer y que permite unir o pegar piezas de mampostería de modo que resulte un cuerpo compacto.

Aglutinante hidráulico producido por la pulverización de Clinker y sulfatos de calcio en algunas de sus formas. (NMX-C-420-ONNCCE, 2017)

“El cemento Pórtland es un conglomerante hidráulico que al ser hidratado se solidifica y endurece. Se obtiene mediante un proceso industrial, pulverizando a un grado de finura determinado una mezcla fría de arcilla y materiales calcáreos, previamente sometida a cocción, que se denomina clinker Pórtland, al cual se le adiciona sulfato de calcio como anhidrita (CaSO_4), yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) o hemihidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$), para regular el tiempo de fraguado.” (ITM, 2002)



2.1.1. Industrialización

“El cemento es un polvo fino que se obtiene de la calcinación a 1,450°C de una mezcla de piedra caliza, arcilla y mineral de hierro. El producto del proceso de calcinación es el clínker —principal ingrediente del cemento—, que se muele finamente con yeso y otros aditivos químicos para producir cemento.” (CEMEX, 2021)

Las etapas del proceso de industrialización del cemento son:

1. Extracción y trituración. Una vez se extraen las materias primas (calizas y arcillas) de la cantera, se transportan a la planta y se trituran.
2. Prehomogenización. Una banda transporta el material; éste es analizado por un equipo de rayos gamma; luego pasa al patio de prehomogenización
3. Almacenado y dosificación. El material es almacenado para recibir minerales de hierro y caliza correctiva alta; se dosifica dependiendo de qué tipo de cemento se necesita.
4. Molienda. En el molino de crudo se pulveriza el material (harina), luego pasa al silo de homogenización.
5. Fabricación de clínker. Con altas temperaturas, la harina se transforma en clínker (especie de piedra pequeña cristalizada, redonda, gris, enfriada con rapidez). Se aprovecha para coprocesar residuos industriales.
6. Premolienda. Tras ser almacenado, el clínker pasa por un molino de rodillos.
7. Molienda. El clínker se muele con yeso, lo que determina el tipo de cemento.
8. Empaque en bolsas.
9. Empaque a granel.



10. Despachos.

(Holcim, 2021)



Figura 1. "Industria del cemento" (CEMEX, 2021)

2.1.2. Clasificación según la norma mexicana NMX-C-414-ONNCCE-2017.

2.1.2.1. Según su composición

Según los materiales de los que está compuesto el cemento portland, se clasifican de la siguiente manera:

Cemento portland ordinario (CPO)

El producido mediante la molienda del clinker Pórtland y sulfato de calcio.

Cemento portland puzolánico (CPP)

El que resulta de la molienda conjunta del clinker Pórtland, puzolanas y sulfato de calcio.

Cemento portland con escoria granulada de alto horno (CPEG)

El producido mediante la molienda conjunta del clinker Pórtland, escoria granulada de alto horno y sulfato de calcio.



Cemento portland compuesto (CPC)

El que se obtiene de la molienda conjunta del clinker Pórtland, puzolanas, escoria de alto horno, caliza y sulfato de calcio. En este tipo de cemento la caliza puede ser el único componente adicional al clinker Pórtland con el sulfato de calcio.

Cemento portland con humo de sílice (CPS)

El que resulta de la molienda conjunta del clinker Pórtland, humo de sílice y sulfato de calcio. (ITM, 2002)

Cemento con escoria granulada de sílice (CEG)

El producido mediante la molienda conjunta del clinker Pórtland, sulfato de calcio y mayoritariamente escoria granulada de alto horno. (ITM, 2002)

2.1.2.2. Según su resistencia

Los cementos Pórtland se clasifican en las clases resistentes que se indican en la tabla 1.

Tabla 1. Clases resistentes de los cementos portland. (ITM, 2002)

| Clase resistente | Unidades en MPa (kg/cm ²) | | |
|------------------|---------------------------------------|--------------------------|-------------|
| | Resistencia a la compresión | | |
| | A 3 días ^[1] | A 28 días ^[2] | |
| | mínimo | mínimo | máximo |
| 20 | - | 20 (204) | 40 (408) |
| 30 | - | 30 (306) | 50 (510) |
| 30R | 20 (204) | 30 (306) | 50 (510) |
| 40 | - | 40 (408) | - |
| 40R | 30 (306) | 40 (408) | - |

[1] Corresponde a la resistencia inicial del cemento
[2] Corresponde a la resistencia normal del cemento



2.1.2.3. Según sus características especiales

Los cementos Pórtland pueden presentar una o más de las características especiales que se indican en la tabla 2.

Tabla 2. Características especiales de los cementos portland. (ITM, 2002)

| Característica especial | Nomenclatura |
|----------------------------------|--------------|
| Resistente a los sulfatos | RS |
| Baja reactividad álcali-agregado | BRA |
| Bajo calor de hidratación | BCH |
| Blanco | B |

2.1.2.4. Tipos de cementos portland

Existen muchos tipos de cemento, para diferentes aplicaciones, con propiedades y características específicas. Los cementos portland se producen de acuerdo con las especificaciones ASTM C 150, AASHTO M 85 o ASTM C 1157 (Kosmatka, Kerkhoff, Panarase, & Tanesi, 2004, pág. 30). La ASTM C 150, Especificaciones de Norma para el Cemento Portland (Standard Specification for Portland Cement), designa ocho tipos de cementos, usando los números romanos, como se indica en la tabla 3:

Tabla 3. Tipos de cementos. (ASTM-C-150-02., 2016)

| Cemento | Característica |
|-----------|---|
| Tipo I | Normal |
| Tipo IA | Normal con aire incluido |
| Tipo II | Moderada resistencia a los sulfatos |
| Tipo IIA | Moderada resistencia a los sulfatos con aire incluido |
| Tipo III | Alta resistencia inicial (alta resistencia temprana) |
| Tipo IIIA | Alta resistencia inicial con aire incluido |
| Tipo IV | Bajo calor de hidratación |
| Tipo V | Alta resistencia a los sulfatos |



2.1.3 . Propiedades del cemento portland

2.1.3.1. Físicas

Finura: es una propiedad del cemento portland que esta normada, ya que determina la velocidad de hidratación del mismo y por ende el desarrollo de calor de hidratación y adquisición de resistencia.

Fluidez: *es una medida de la consistencia del mortero fresco. Se mide como porcentaje del diámetro del mortero dispersado respecto al original probado en una mesa de fluidez.* (NMX-C-529-ONNCCE, 2017). Esta prueba se realiza a una mezcla de cemento portland para determinar la cantidad óptima de agua para una buena trabajabilidad

Densidad: Se define como la masa por unidad de volumen de los sólidos y debe de cumplir con lo establecido en la norma NMX-C-152-ONNCCE vigente.

Tiempos de fraguado: Para todos los tipos de cemento portland se tienen tiempos mínimos y máximos de fraguado inicial y final respectivamente. Según la norma NMX-C-414-ONNCCE-2017 los tiempos de fraguado inicial y final del cemento (método Vicat), serán como mínimo de cuarenta y cinco (45) minutos y seiscientos (600) minutos como máximo, respectivamente.

2.1.3.2. Químicas

Expansión por ataque de sulfatos: Para cualquier tipo de cementos portland la expansión máxima por ataque de sulfatos será de 0.05% a 6 meses y 0.1%



a un año de acuerdo con el Manual M.MMP.2.02.012, Expansión por ataque de sulfatos. (ITM, 2002)

2.1.3.3. Mecánicas

Compresión simple: Es la capacidad de carga a compresión por unidad de área del mortero, medida en ensayos de especímenes cúbicos elaborados, curados y probados en condiciones estándar especificadas, expresada en MPa (kg/cm^2) (NMX-C-529-ONNCCE, 2017).

Adherencia: Es la capacidad del cemento portland para absorber tensiones normales o tangenciales a la superficie de la interface del cemento a la base.

2.1.4. Cemento empleado en la investigación

Para morteros propuestos de uso estructural con adiciones derivadas del nopal, así como para morteros de uso no estructural con adiciones, se usó cemento CPC 30 R RS; mientras que, para morteros de uso adhesivo con adiciones, se usó cemento CPC 40 RS de acuerdo con lo establecido por la norma NMX-C-414-ONNCCE-2017.

2.2. Agregados

“Son materiales de naturaleza pétreo que pueden proceder de minas, de bancos de extracción o canteras, guijarros de río, de la trituración de elementos de concreto o también resultantes de un proceso industrial.” (NMX-C-529-ONNCCE, 2017)



En esta investigación se usó la relación cemento/agregado igual a **1:2.75** en peso para morteros estructurales la misma relación usada en la investigación de (Leon, 2017) con fines de tener propiedades similares, y poder comparar los resultados de los ensayos aplicados, y **1:2.5** para morteros no estructurales y adhesivos relación usada con fines de una investigación preliminar.

Podemos encontrar diferentes tipos de agregados que varían en sus propiedades físicas como el tamaño de las partículas, porosidad, densidad, etc.; y químicas, es decir, en los minerales que contienen. Los agregados se mezclan con cementantes hidráulicos para fabricar morteros, concretos, pinturas y una gran diversidad de aplicaciones en la construcción.

Agregado grueso (gravas) : Según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), se define como agregado grueso (grava), a la parte del agregado pétreo total que queda retenido en el tamiz #4, y según la normativa europea UNE-EN 933-2., se define como agregado grueso, a la parte del agregado pétreo total que queda retenido en el tamiz de 2 mm. (Alejandro, 2004)

Agregado grueso (arena): Según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), se define como agregado grueso (arena), a la parte del agregado pétreo total que pasa el tamiz #4 y queda retenido en el tamiz #200, y según la normativa europea UNE-EN 933-2, se define como agregado fino, a la parte del agregado pétreo total que pasa el tamiz 2 mm. y queda retenido en el tamiz 0.063 mm. (Alejandro, 2004)



Figura 2. Agregados pétreos. (Concretos Técnicos, 2016)

2.2.1. Origen

Minas, Canteras: Es la explotación de un yacimiento para extraer minerales, existe una gran variedad de procesos para extraerlos, como el uso de herramienta mecánica, explosivos, maquinaria pesada, etc.

Bancos de extracción: También conocidos como bancos a cielo abierto, donde se procesan los materiales pétreos.

Artificiales: Son agregados provenientes de material como el concreto que es triturado y reutilizado.

2.2.2. Propiedades

2.2.2.1. Físicas

Los agregados como elementos aislados tienen propiedades físicas macroscópicas: dimensión, forma, redondez, densidad, propiedades de superficie,



porosidad, permeabilidad, dureza superficial, módulo elástico, conductividad térmica, dilatación, color, lustre, etc. (Alejandro, 2004)

2.2.2.2. Químicas

Los agregados como elementos aislados tienen propiedades químicas macroscópicas: solubilidad, alterabilidad, hinchamiento, etc. (Alejandro, 2004)

2.2.2.3 Mecánicas

Engloban los parámetros básicos de resistencia al desgaste y al pulimento. (Alejandro, 2004)

2.2.3. Agregados empleados en la investigación

Para los morteros propuestos de uso estructural con adiciones derivadas del nopal, se usó carbonato de calcio como agregado fino de la marca PTM La Reyna. Para morteros de uso no estructural con adiciones, se usó carbonato de calcio como agregado fino de la marca PTM La Reyna y arena del banco de materiales El Coro ubicado en Zinapécuaro, Mich. Ubicado en las coordenadas $19^{\circ}52'41.51''N$ y $100^{\circ}54.15''$.

Para morteros de uso adhesivo con adiciones, se usó carbonato de calcio como agregado fino de la marca PTM La Reyna, se usó arena del banco de materiales El Coro ubicado en Zinapécuaro, Mich. y arena de sílice 30/50 de origen desconocido.



Figura 3. Banco El Coro, Zinapécuaro. (C. A. Díaz Ávila)

2.3. Agua de mezclado

El agua para el mezclado del mortero debe cumplir con las especificaciones de la Norma Mexicana (NMX-C-122-ONNCCE, 2004), y debe ser proveniente o almacenada en depósitos limpios y cubiertos.

En el agua tenemos muchas propiedades que pueden generar cambios en las propiedades de las mezclas de mortero como es el potencial de hidrógeno, la temperatura, contenido de sales, entre otros; es importante al realizar una investigación reportar de donde proviene el agua para el mezclado y manipularla de una manera que no se contamine de otros compuestos antes de su uso ya que podría generar cambios significativos en diferentes pruebas a realizar en los



morteros, en la tabla 4 se muestran los límites para el uso del agua en mezclas con cemento.

2.3.1. Especificaciones

Tabla 4. Especificaciones de agua para concreto. (NMX-C-122-ONNCCE-2004)

| PARÁMETRO / UNIDADES | LÍMITE MÁXIMO | MÉTODO DE PRUEBA |
|--|---------------|---------------------------|
| Sólidos en suspensión (SST mg/l) | 2000 | NMX-AA-034-SCFI-2001 |
| Sólidos totales (ST mg/l) | - | NMX-AA-034-SCFI-2001 |
| Total, de impurezas en solución | 3500 | NMX-AA-034-SCFI-2001 |
| Cloruros Cl-(mg/l) | 400 | NMX-AA-073-SCFI-2001 |
| Sulfatos como SO ₄ (mg/l) | 3000 | NMX-AA-074-1981 |
| Dureza Magnésica (mg/l CaCO ₃) | 100 | NMX-AA-072-SCFI-2001 |
| Dureza Cálcica (mg/l CaCO ₃) | - | NMX-AA-072-SCFI-2001 |
| Dureza Total (mg/l CaCO ₃) | - | NMX-AA-072-SCFI-2001 |
| Carbonatos CO ₃ (mg/l) | 600 | NMX-AA-036-SCFI-2001 |
| Alcanidad Total (mg/l CaCO ₃) | 300 | NMX-AA-036-SCFI-2001 |
| Alcanidad a la Fenolftaleína (mg/l) | - | NMX-AA-036-SCFI-2001 |
| Hidróxidos OH (mg/l) | - | NMX-AA-036-SCFI-2001 |
| Bicarbonatos HCO ₃ (mg/l) | - | NMX-AA-036-SCFI-2001 |
| Grasas o aceites (mg/l) | 0 | NMX-AA-005-SCFI-2000 |
| Materia orgánica como DQO (mg/l) | 150 | NMX-AA-030-SCFI-2001 |
| Potencial de Hidrógeno (pH) | >6 | NMX-AA-008-SCFI-2000 |
| Conductividad eléctrica (us/cm) | - | Electrométrico |
| Oxígeno disuelto (mg O ₂ /l) | - | Electrométrico |
| Salinidad (%) | - | Electrométrico |
| Cloro Total (mg/l) | | Comparación colorimétrica |
| Cloro Libre (mg/l) | - | Comparación colorimétrica |
| Temperatura de análisis (°C) | - | NMX-AA-007-SCFI-2000 |

2.3.2. Agua empleada en la investigación

El agua empleada para este trabajo de investigación se obtuvo del Laboratorio de Materiales Ing. Luis Silva Ruelas, del departamento de corrosión, ubicado en



Francisco J. Mújica, Ciudad Universitaria, Morelia, Mich., tomando en cuenta las especificaciones de la norma NMX-C-122-ONNCCE-2004.

2.4. Adiciones al mortero en estudio

El uso de adiciones en mezclas de morteros es con el fin de modificar alguna o varias propiedades de los mismos, ya sea en estado fresco o endurecido. En este trabajo de investigación se emplearon adiciones orgánicas y sintéticas de la siguiente manera:

Para fines de esta investigación clasificaremos 3 tipos de mortero como; morteros estructurales, morteros no estructurales y morteros adhesivos.

Para los morteros estructurales se usó la adición orgánica de mucílago de nopal, tomando en cuenta los estudios del trabajo de investigación de (Leon, 2017), el presente trabajo de investigación toma como referencia la mejor proporción reportada (1:3), y además se agrega una proporción diferente a la estudiada por (Leon, 2017), trabajando un total de dos proporciones 1:3 y 1:4, esto quiere decir que por un kilo de nopal se agregan 3 y 4 litros de agua respectivamente y se extrae el mucílago por cocción, además de pulverizar el mucílago en las mismas proporciones para comparar resultados entre el uso del polisacárido líquido y en estado sólido.

Para morteros de uso no estructural se trabajaron las siguientes adiciones:

- Almidón modificado (dextrina) - modificador reológico y resina.



- Carbometilcelulosa - espesante y retenedor de agua.
- Naftaleno de sodio - reductor de agua y dispersante.
- Ácido cítrico - dispersante y secuestrante.
- Tensoactivo Lauril sulfonato de sodio - inclusor de aire (mejora la trabajabilidad).

Para morteros adhesivos se trabajaron las siguientes adiciones:

- Alcohol polivinílico (PVA) - resina.
- Almidón modificado (dextrina) - modificador reológico y resina.
- Carbometilcelulosa - espesante y retenedor de agua.
- Naftaleno de sodio - reductor de agua y dispersante.
- Ácido cítrico - dispersante y secuestrante.
- Tensoactivo derivado del aceite de coco - inclusor de aire (mejora la trabajabilidad).

2.4.1. Mucílago de nopal

“El mucílago del nopal es un polisacárido fibroso, altamente ramificado, cuyo peso molecular oscila alrededor de 13×10^6 g/mol. Contiene aproximadamente de 35 a 40 % de arabinosa, 20 a 25% de galactosa y xilosa cada una, y de 7 a 8% de ramnosa y ácido galacturónico cada uno.” (Gibson, 1990).



Figura 4. Mucílago de nopal (Cactus Power México, 2020)

2.4.1.1. Tipos y usos

“México cuenta con más de 100 especies del género *Opuntia*, y es en las zonas semiáridas donde existe la variación más amplia, por lo que algunos botánicos lo consideran como el centro de origen de los nopales.

Dentro de las características principales del género *Opuntia* podemos mencionar las siguientes:

Son plantas, suculentas arborescentes, arbustivas o rastreras, simples o cespitosas, generalmente espinosas. Tronco bien definido o con ramas desde la base, erectas, extendidas o postadas. Artículos globosos, claviformes, cilíndricos o aplanados (cladodios), muy carnosos o leñosos. Limbo de las hojas pequeñas, cilíndrico, carnoso, muy pronto caduco. Aréolas axilares con espinas, pelos, glóquidas y a veces glándulas; generalmente las de la parte superior de los artículos son las productoras de flores, espinas solitarias o en grupos, desnudas o en vainas papyraceas.



Flores generalmente hermafroditas, ovario ínfero con una cavidad y muchos óvulos. Estambres numerosos, más cortos que los pétalos, grueso: lóbulos del estigma cortos. Fruto en baya, seco o jugoso, espinoso o desnudo, globoso, ovoide hasta elíptico. El género *Opuntia* se divide en dos subgéneros: el *Cilindropuntia* (en general, éste no tiene mayor importancia económica) y el *Platyopuntia*.” (INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO, 2007)

Los usos tradicionales del mucílago de nopal en la construcción por sus propiedades aglutinantes son en adobes, pinturas, anticorrosivos e infiltradores de suelo, entre otros. El mucílago en combinación con la cal hidráulica aumenta las propiedades de repelencia de agua y adhesivas.

También se ha utilizado en la elaboración de morteros y concretos hidráulicos a base de cemento portland incrementando los tiempos de fraguado, mezclas menos porosas y aumento en la resistencia a la compresión. Al actuar como un agente modificador reológico evita la segregación en las mezclas.

2.4.1.2. Nopal empleado en la investigación

El nopal del cual se extrajo el mucílago fue del género *Opuntia ficus indica*, cortada de un predio del cual se tenía la certeza de que los nopales plantados tenían más de dos años de edad (maduros).



2.4.2. Almidón de maíz modificado

“Los gránulos de almidón son tratados química, física y bioquímicamente para causar la ruptura de algunas o todas las moléculas (Figura 4). La modificación del almidón permite realzar o inhibir propiedades como consistencia, poder aglutinante, estabilidad a cambios en el pH y temperatura y mejorar su gelificación, dispersión o fluidez. Las principales modificaciones son la degradación, la pregelatinización y la derivatización, los cuales se resumen a continuación, junto con los almidones modificados y sus aplicaciones.” (Johanna Aristizábal, 2007)

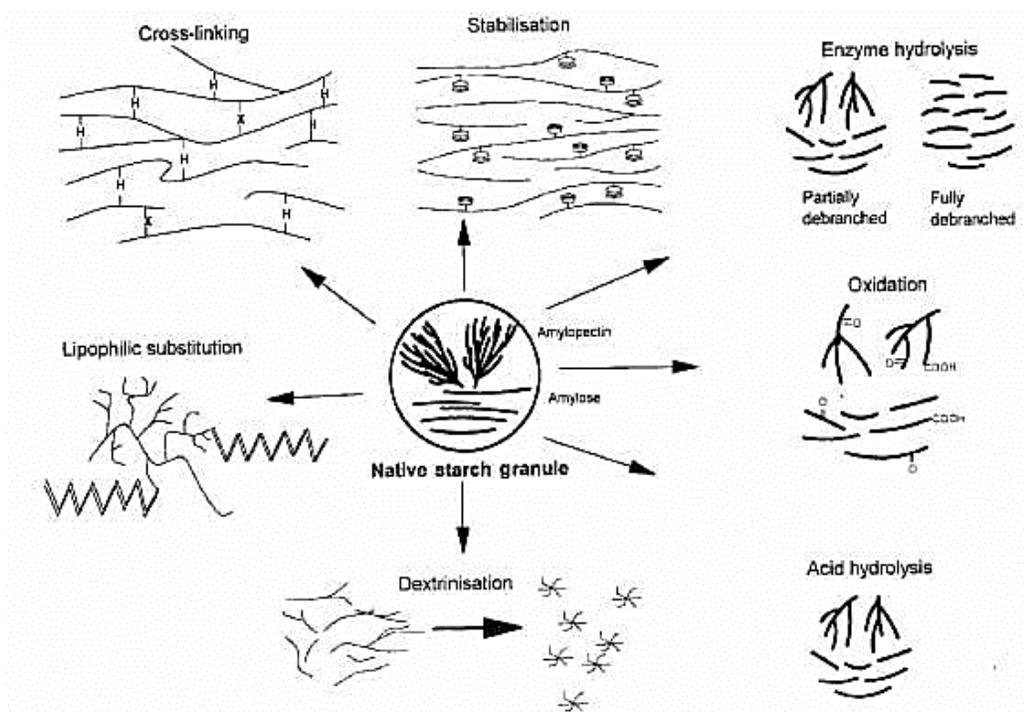


Figura 5. Modificaciones química y bioquímica del almidón. (Johanna Aristizábal, 2007)



2.4.2.1. Tipos y usos

Dextrinización

“Las dextrinas son productos de degradación parcial del almidón obtenidas por calentamiento, con o sin catalizadores, en un mecanismo de conversión que involucra procesos de ruptura hidrolítica, reorganización de moléculas y repolimerización. El calor rompe parte de las uniones 1-4 del almidón e incrementa las uniones 1-6, con lo que se disminuye la longitud de las cadenas moleculares, al tiempo que se incrementa la ramificación. Esto determina una buena solubilidad en agua fría, menor tendencia a la retrogradación y mayor resistencia a las enzimas. Dada la forma corriente de obtención se denominan también pirodextrinas. La manufactura de dextrinas puede ser realizada por dos métodos:

Método seco

El almidón es calentado solo o en presencia de pequeñas cantidades de un catalizador. Hay tres clases de pirodextrinas industriales y cada una tiene características propias de color, poder viscosante y solubilidad en agua fría, a saber:

- Dextrinas blancas. Se preparan calentando almidón con una cantidad relativamente grande de catalizador ácido, a pH bajo, baja temperatura entre 80-120 °C y tiempos de tostación relativamente cortos de 3-8 horas.



Son de color blanco similar al almidón, su solubilidad en agua es limitada y tiende a retrogradar en grados variables.

- Dextrinas amarillas o canarias. Se obtienen por tratamiento del almidón con trazas de ácido, a pH bajo y alta temperatura entre 150-220 °C, por largo tiempo de tostación de 6-18 horas. Presentan un distintivo color amarillo y tienen alta solubilidad en agua.
- Gomas británicas. Se forman cuando el almidón solo se calienta a temperatura de 180-220 °C, a alto pH y por un tiempo largo de proceso de 10-20 horas. Son de color marrón oscuro, tienen gran variación en solubilidad y poder viscosante. Tienen aroma de caramelo.

(Johanna Aristizábal, 2007)

Método húmedo

El almidón se dispersa en agua y es calentado en presencia de un catalizador o tratado con enzimas. Cuando se usa un catalizador ácido las dextrinas son producidas por simple calentamiento de suspensiones acuosas de almidón con ácido. Son usadas para textiles o adhesivos; sin embargo, poseen cierta cantidad de dex trosa y su presencia en cantidades excesivas causa rompimiento de la película adhesiva con la consecuente disminución de su fuerza.

La conversión con enzimas se lleva a cabo por tratamiento de una pasta de almidón, con enzimas hidrolíticas. Según el tipo de enzima pueden ser:



- Maltodextrinas. Se obtienen por tratamiento del almidón con α -amilasa. El jarabe resultante es filtrado y refinado con carbón activado antes del secado por aspersión. Su equivalente de dextrosa (DE) varía entre 3-20. Se utilizan en alimentos como encapsulantes de sabor, aromas y color, espesantes y estabilizantes de emulsiones y espumas y en formulaciones de alimentos infantiles y dietéticos.
- Ciclodextrinas. También llamadas dextrinas de S chardinger. Se producen por tratamiento del almidón con la amilasa de *Bacillus macerans*; esta enzima tiene la propiedad de transformar las cadenas lineales del almidón en moléculas cíclicas. Su acción es compleja y parece catalizar al menos tres reacciones que implican los fenómenos de ciclización, de acoplamiento y de hidrólisis. Entre sus principales aplicaciones se pueden citar la estabilización de sustancias volátiles, emulsiones y compuestos aromáticos, la formación de complejos de inclusión mejorando la estabilidad de la molécula en diferentes ambientes y aumentando su solubilidad.

(Johanna Aristizábal, 2007)

2.4.2.2. Almidón empleado en la investigación

Para este trabajo de investigación se utilizó el almidón de maíz modificado a dextrina amarillas o canarias. En la figura 6a se muestra la dextrina sin hidratar, y en la figura 6b se muestra la misma dextrina mencionada hidratada, teniendo un aspecto a miel.

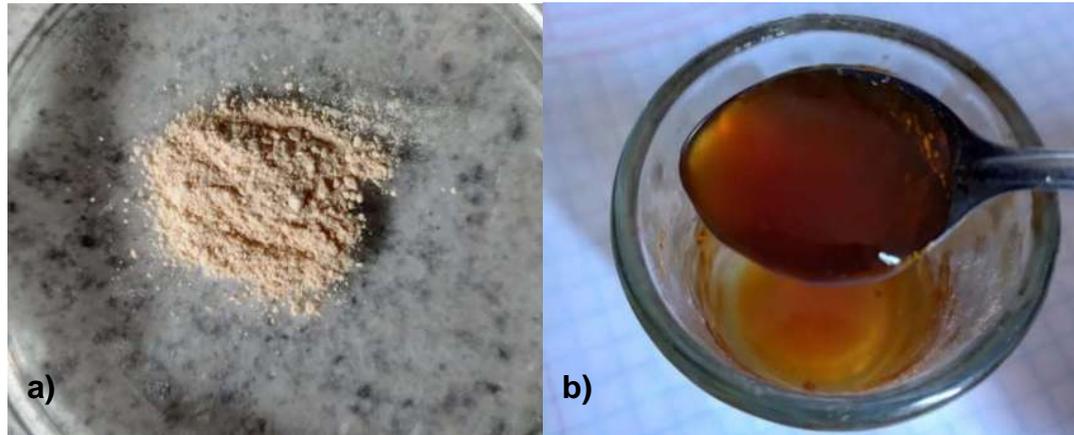


Figura 6. a) Almidón modificado anhidro (Dextrina amarilla o canaria) y b) dextrina hidratada. (C. A. Díaz Ávila)

2.4.3. Surfactante

Surfactante o también llamados tensoactivos, compuestos que modifican la tensión superficial de dos o más líquidos insolubles el uno al otro, destacados por sus propiedades emulsificantes, humectantes y solubilizantes.

2.4.3.1. Tipos y usos

Según la estructura molecular de los surfactantes se tienen diferentes propiedades, estos se componen de una parte hidrófuga o hidrófoba y el resto es hidrófilo (soluble en agua). Se dividen de la siguiente manera:

Surfactantes aniónicos

La parte hidrofílica de la molécula del surfactante tiene carga negativa.



Surfactantes catiónicos

La parte hidrofílica del surfactante tiene carga positiva, estos surfactantes suelen tener gran adherencia en ciertos sustratos.

Surfactantes no iónicos

Los surfactantes no iónicos contienen grupos ionizables y por ende no se disocian en el agua en iones.

Surfactantes anfóteros

En este tipo de surfactantes puede actuar de manera iónica o catiónica dependiendo el potencial de hidrogeno presente.

(Curiosando, 2017)

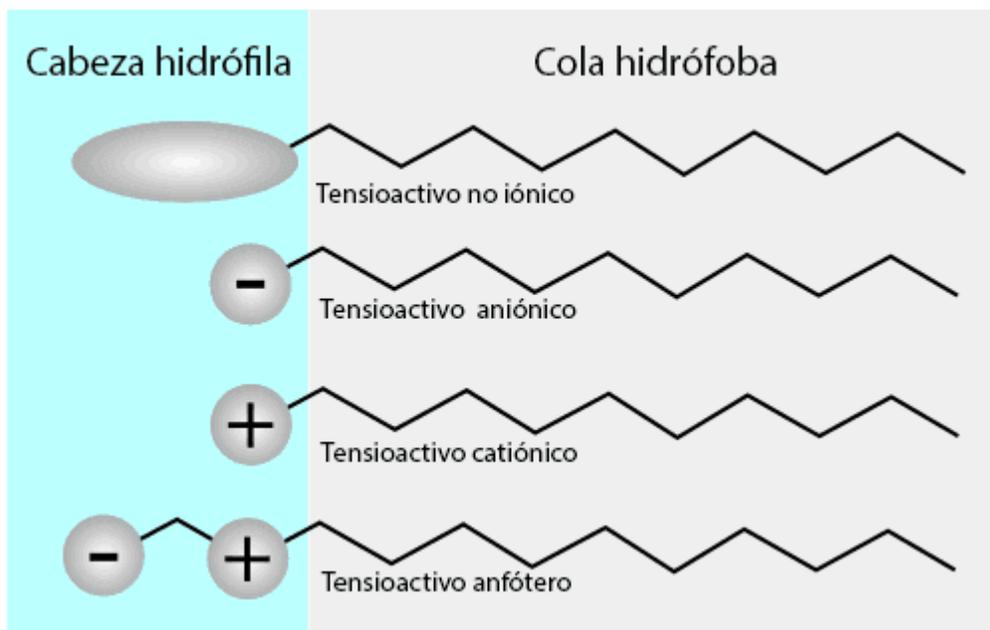


Figura 7. Clasificación de tensoactivos (Curiosando, 2017)



El uso de surfactantes aumenta la trabajabilidad la adherencia en los morteros, mejora la facilidad de humectación y aumenta la plasticidad en las mezclas.

2.4.3.2. Surfactante empleado en la investigación

En este trabajo de investigación se usaron dos tipos de surfactantes uno de ellos derivado del aceite de coco para morteros adhesivos y Lauril sulfonato de sodio para morteros no estructurales, ambos son aniónicos.

2.4.4. Ácido cítrico

El ácido cítrico, es un ácido orgánico que puede ser considerado natural; sin embargo, también puede ser sintetizado vía laboratorio, es un ácido orgánico que se encuentra en casi todos los tejidos animales y vegetales, se presenta en forma de ácido de frutas como el limón, mandarina, lima, toronja, naranja, piña, ciruela, guisantes, melocotón, así como en los huesos, músculos y sangre de animales. De forma sintética es un polvo con cristales transparentes, sin olor.

Es comúnmente un buen conservante y antioxidante natural. Se propone utilizar en la industria de la construcción en morteros como regulador de pH, acidulante, secuestrante y como inhibidor de oxidación. (Universidad de Ciencias y Artes Chiapas)



2.5. Otras adiciones empleadas al mortero

2.5.1. Espesante celulósico

Podemos encontrar diferentes tipos de espesantes derivados de la celulosa, de alta media o baja viscosidad, así como las siguientes propiedades que pueden aportar los espesantes en los morteros; pegajosidad, consistencia, antideslizamiento, morteros de largo estado fresco, mayor demanda de agua, entre otros. Se usó principalmente como modificador de viscosidad y reología, agente de retención de agua, estabilizador y agente de suspensión.

“La carboximetilcelulosa (CMC) o goma de celulosa es un derivado de celulosa con grupos carboximetilo (-CH₂-COOH) unidos a algunos de los grupos hidroxilo de los monómeros de glucopiranososa que forman la estructura de la celulosa. A menudo se utiliza como su sal de sodio, carboximetilcelulosa de sodio. La CMC se utiliza en alimentos con el número E E466 como modificador de viscosidad o espesante y para estabilizar emulsiones en varios productos, incluido el helado. También es un componente de muchos productos no alimenticios, como pasta de dientes, laxantes, pastillas para adelgazar, pinturas a base de agua, detergentes, aprestos textiles y diversos productos de papel.” (Alibaba, 2021)

2.5.1.1. Tipos y usos

Industria de construcción



1. Utilizado como aglutinante en yeso, yeso, masilla en polvo, mortero u otros materiales de construcción para mejorar la procesabilidad y extender el tiempo de operación. Evita que la lechada se seque y se agriete demasiado rápido después de la pulverización, y la resistencia aumenta después del endurecimiento.

2. Utilizado como adherente para azulejos, mármol y acabados de plástico.

Industria cerámica

Muy utilizada como aglutinante en la fabricación de productos cerámicos. .

Industria de recubrimientos

1. Utilizado como espesante, dispersante y estabilizador en la industria de recubrimientos. Buena compatibilidad con agua o disolventes orgánicos.

2. Utilizado como decapante de pintura, recubrimiento de dispersión, recubrimiento de paredes, coadyuvante de polimerización.

2.5.1.2. Espesante empleado en la investigación

El espesante celulósico usado en esta investigación fue de la marca DEIMAN en la presentación que se muestra en la figura 8.



Figura 8. . Carboximetil celulosa Deiman.
(C. A. Díaz Ávila)



2.5.2. Reductor de agua

También conocidos como superplastificantes funcionan por efecto de la dispersión de las partículas de cemento, se traduce en mayores resistencias con la misma cantidad de cemento o importantes ahorros de cemento para las mismas resistencias.

Características y beneficios

En estado plástico:

- Reduce el contenido de agua de mezcla por lo menos en 5 %.
- Mejora la trabajabilidad.
- Mejora la cohesión.
- Reduce la tendencia a la segregación y al sangrado.

En estado endurecido:

- Aumenta la resistencia a la compresión axial y a la flexión.
- Mejora la adherencia al acero de refuerzo.
- Reduce la tendencia al agrietamiento.

“Probablemente la evolución tecnológica más radical entre los aditivos para concreto ha tenido lugar en los superplastificantes durante las últimas dos décadas. Estos aditivos como su nombre lo describen, cumplen una función similar a los plastificantes, es decir aumentan la manejabilidad de las pastas de cemento y por lo tanto la manejabilidad del concreto. Este incremento en la manejabilidad hace posible disminuir el contenido de agua y de cemento (son



ahorradores de pasta) manteniendo la fluidez del material y su resistencia. Los superplastificantes se emplean una vez la capacidad de los plastificantes ha llegado a su máximo. Son especialmente eficientes en concretos con altos asentamientos, o concretos de altas resistencias que implican en ambos casos, contenidos elevados de pasta. Los superplastificantes en su origen fueron compuestos de Naftaleno sulfonado, melaminas y vinilos. Estas moléculas orgánicas e inorgánicas basan su funcionamiento de dispersión en los siguientes mecanismos: repulsión electrostática inducida entre las partículas; lubricación de la película existente entre las partículas de cemento; dispersión de las partículas de cemento, liberando el agua atrapada entre los flóculos de cemento; inhibición de la hidratación del cemento en superficie, dejando más agua para plastificar la mezcla; cambio en la morfología de los productos de hidratación e inducción de impedancia estérica previniendo el contacto entre partículas.”

(Sika)

2.5.2.1. Tipos y usos

Naftaleno Sulfonato de Sodio

Es un dispersante aniónico de alto peso molecular, reductor de agua para concreto y morteros y genera dispersión del cemento.

Policarboxilato

Los Policarboxilato son la más reciente generación de nuevos superplastificantes, su estructura molecular sin duda es mucho más compleja que la de sus predecesores, pero su eficiencia es muy superior si se considera que su dosificación se divide entre 2 a 3 veces la de los superplastificantes tradicionales.



Los mecanismos de dispersión de los policarboxilatos dependen menos de las fuerzas eléctricas, que la generación anterior.

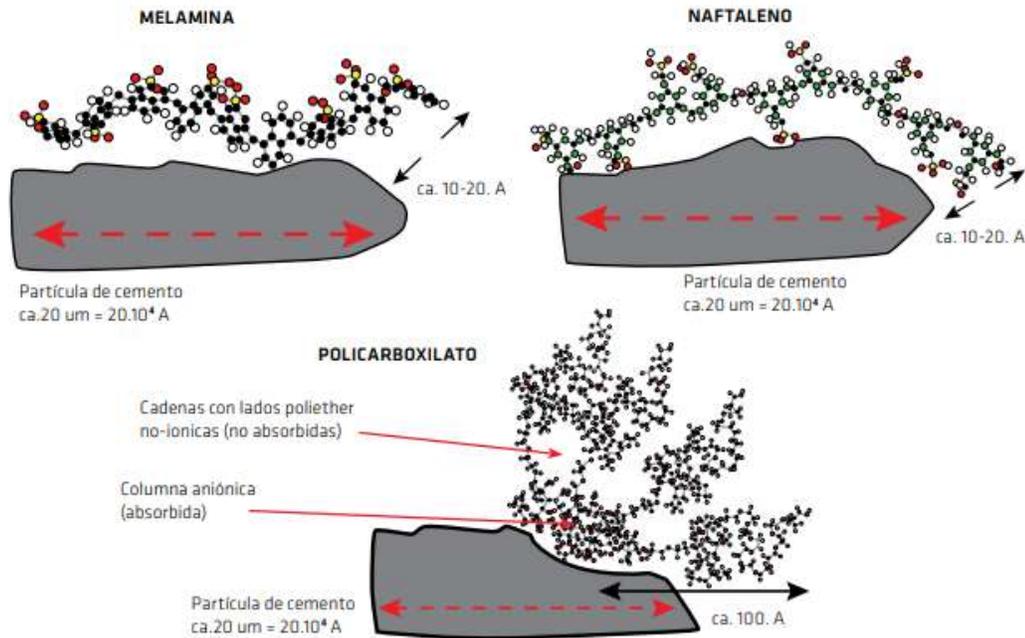


Figura 9. Reductores de agua en partículas del cemento. (Sika)

2.5.2.2. Reductor de agua empleado en la investigación

En este trabajo de investigación se usó naftaleno sulfonato de sodio, como agente dispersante y reductor de agua, la figura 10 se muestra el empaque del producto antes mencionado.

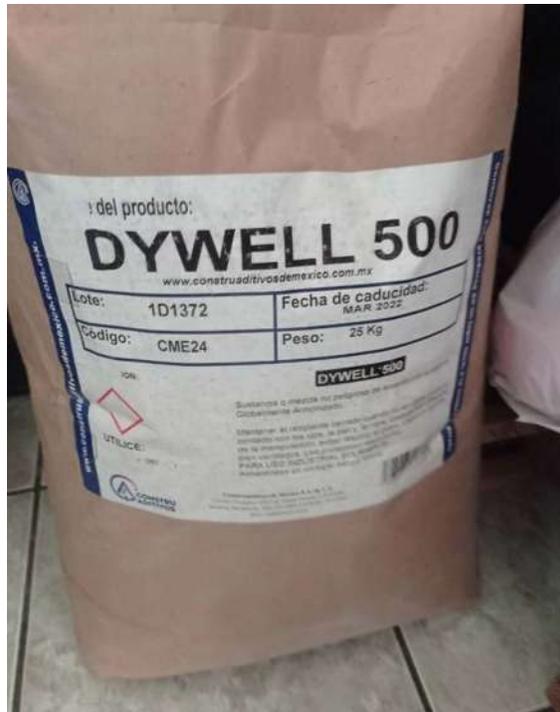


Figura 10. Reductor de agua anhidro naftaleno sulfatano de sodio. (C. A. Díaz Ávila)

2.5.3. Resina

Resina natural

“Sustancia orgánica sólida o de consistencia pastosa, insoluble en el agua, no volátil, soluble en el alcohol y en los aceites esenciales, y capaz de arder en contacto con el aire, obtenida naturalmente de la secreción que fluye de varias plantas, particularmente de árboles del tipo conífera.”

(CONSTRUMATICA, 2011)

Muy apreciada en el ámbito de la construcción por sus propiedades químicas y sus usos asociados, como por ejemplo la producción de barnices y adhesivos.

(CONSTRUMATICA, 2011)

Resina sintética



Sustancia sintética de consistencia sólida o pastosa, cuyas propiedades son similares a las resinas naturales y que ha ido reemplazando prácticamente el uso de éstas. (CONSTRUMATICA, 2011)

2.5.3.1. Tipos y usos

Tipos de resina (sintética)

- Resina Acrílica

Se denomina resina acrílica a aquella de fácil utilización, tiempo de endurecimiento corto y contracción despreciable. Es un plástico muy resistente y con cualidades ópticas. La resina acrílica endurecida es termoplástica y resistente a los productos químicos. A partir de ella se obtienen el metacrilato, así como también la pintura acrílica.

- Resina Alkídica

Resina sintética integrante del grupo de las resinas termoplásticas, derivada de la reacción de un alcohol polivalente con un ácido polivalente, usado como elemento adhesivo y en pinturas.

- Resina de Polivinilo

Resina termoplástica formada por la polimerización o copolimerización de un compuesto vinílico.

- Resina de Urea Formaldehído



Resina sintética termoestable formada por la condensación de la urea y el formaldehído. Posee una gran resistencia al calor y se usa en la fabricación de adhesivos y revestimientos superficiales.

- Resina de Vinilo

Resina termoplástica formada por la polimerización o copolimerización de un compuesto vinílico. También se lo llama resina de polivinilo

- Resina Epoxi

Material polimérico termoestable que se endurece al mezclarlo con un agente catalizador o endurecedor.

- Resina Fenólica

Resina sintética termoestable, caracterizada por su resistencia al calor y al agua. Está formada por la condensación del fenol y el formaldehído, de gran resistencia al envejecimiento.

- Resina Melamínica

Resina sintética termoestable, resistente al calor y a la mayoría de los ácidos. Se la emplea en la fabricación de laminados y revestimientos superficiales.

(CONSTRUMATICA, 2011)



2.5.3.2. Resina empleada en la investigación

Para este trabajo de investigación se trabajó con resina vinílica poli acetato de vinilo (PVA), que se consiguió de un pegamento comercial, como el que se muestra en la figura 11, que está elaborado con este compuesto PVA.



Figura 11. Resistol 850 a base de resina vinílica (PVA). (Henkel, 2021)

3. Procedimiento experimental

3.1. Caracterización de los materiales

3.1.1. Cemento portland

3.1.1.1. Densidad

Para fines de este trabajo de investigación, se entiende por densidad del cemento, la realización de la masa del cemento en gramos, entre el volumen en centímetros cúbicos.

Material



Una muestra representativa del cemento, tal y como se utilizará en la elaboración de especímenes con el mismo.

Equipo

- Frasco de Le Chatelier.
- Balanza con aproximación a los 0.1 gramos.
- Reactivo: Petróleo.
- Recipiente con agua.
- Termómetro
- Embudo de cristal.

Procedimiento

1. Se vierte petróleo en el frasco de LeChatelier hasta un nivel entre 0 y 1 ml como se muestra en la figura 12a , se gira el frasco sobre un círculo horizontal y se sumerge la parte inferior del frasco en a gua hasta una temperatura ambiente que se constante no debe variar más de 0.2° C en las lecturas.
2. Se toma la lectura del líquido en la parte inferior del menisco y se anota como lectura inicial.
3. Se pesan 60 gramos aproximadamente de cemento, se sujeta el frasco de manera vertical y se agrega el cemento lentamente de manera que pase al interior del frasco sin obstruirse.
4. Se coloca el tapón al frasco y se inclina y rueda horizontalmente de manera de lograr que salga el aire atrapado en el cemento y baje el cemento que pudiese quedarse atrapado en las paredes el frasco.
5. Se toma la lectura de la parte inferior del menisco y se registra como lectura final, como se muestra en la figura 12b.

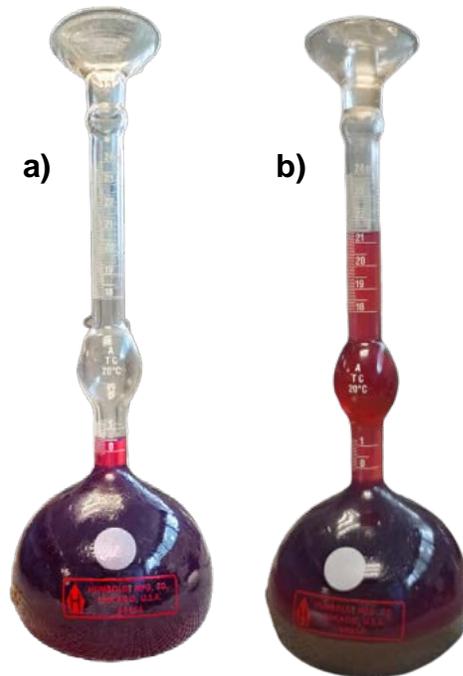


Figura 12. a) Frasco de Le Chatelier con reactivo y b) Frasco de Le Chatelier con cemento y reactivo. (C. A. Díaz Ávila)

Cálculos

$$Densidad = \frac{M}{V}$$

Dónde;

Densidad= densidad del cemento en g/ml, g/cm³.

M= masa del cemento hidráulico, 60 gramos aproximadamente.

V=volumen del líquido desplazado en ml.

Precisión

La prueba se efectuará por duplicado o hasta no tener variaciones en el resultado de más de 0.01 g/ml, g/cm³.

Referencia: NMX-C-152-ONNCCE-2015



3.1.1.2. Consistencia

La consistencia normal del cemento es la cantidad de agua necesaria para determinado peso de cemento, hasta que la aguja de 1 cm de diámetro del aparato de Vicat, penetre dentro de la pasta del cemento elaborada con dicha agua, 10 mm \pm 1 mm bajo la superficie libre, durante 30 segundos después de haber iniciado la prueba.

Equipo

- Muestra representativa de cemento.
- Agua destilada o limpia.
- Balanza con aproximación al décimo de gramo.
- Recipiente limpio para realizar mezcla de cemento y agua.
- Pesas con variaciones permitidas en la tabla A.S.T.M. C187-55.
- Probeta graduada de 100 y 200 mililitros con aproximación de 1 y 2 mililitros respectivamente.
- Aparato de Vicat. (Figura 13)
- Cristal liso.

Procedimiento

1. Se pesan 650 gramos de cemento y se vierten sobre una superficie lisa e impermeable y se forma una especie de cráter con el cemento.
2. Se mide una cantidad de agua en porcentaje con respecto del del peso del cemento y se vierte sobre el cráter de cemento, inmediatamente después de dejar caer el agua en el cemento se acciona un cronometro.
3. Se manipula el agua con el cemento hasta que todo el cemento se humedezca cuidando de no perder agua en el proceso, todo esto en menos de 30 segundos.



4. La mezcla húmeda se deja reposar durante otros 30 segundos, mientras el operador puede colocarse guantes de hule muy poco humedecidos.
5. Pasados los 30 segundos de reposo se hace el amasado manual en un tiempo de 1.5 minutos a partir desde que se empezó a amasar.
6. En los primeros 30 segundos de haber iniciado con el amasado, se mezcla perfectamente la masa con las manos, hasta lograr una pasta uniforme y homogénea.
7. En los siguientes 30 segundos del amasado se forma una esfera con la pasta de una palma a otra a una distancia aproximada de 15 cm, este ciclo de pasar la bola de una mano a otra se debe repetir 6 veces terminado lo anterior.
8. En los últimos 30 segundos del minuto y medio, descansamos la bola en la palma de la mano, se introducirá a presión por la boca mayor de del anillo cónico del aparato de Vicat, el cual se sostendrá con la otra mano llenando completamente el anillo con la pasta, la otra boca se descansará sobre un cristal. El exceso de esta que pertenezca en la boca grande se retirara con un movimiento simple de la palma de la mano.
9. Se colocará el anillo descansando su base mayor, sobre una placa de vidrio y se enrasa la boca superior con una cuchara de albañilería o espátula que se mantendrá formando un pequeño ángulo en el borde de la cuchara durante las operaciones de enrasado y enlisado.
10. La pasta confinada en el anillo que descansa sobre una placa, debe centrarse debajo de la barra, cuyo extremo que forma un em bolo se pondrán en contacto con la superficie de la pasta y se apretará en tornillo sujetador



después se colocará el indicador móvil en la marca de cero en la parte superior de la escala o se hará una lectura inicial.

11. Se deja caer la aguja sobre la superficie de la pasta, se dejan pasar 30 segundos y se toma la lectura de penetración de la aguja como se muestra en la figura 13, si la lectura es de $10\text{mm} \pm 1\text{mm}$, se toma esa cantidad de agua como la necesaria para obtener la consistencia normal del cemento, de lo contrario se repite la prueba con más o menos agua.



Figura 13. Consistencia normal en aparato de Vicat. (C. A. Díaz Ávila)

Referencia: NMX-C-057-ONNCCE-2015

3.1.1.3. Tiempos de fraguado

El objetivo es determinar los tiempos de fraguado (inicial y final) del cemento por el método de las agujas de Gillmore.



Equipo

- Aparato de Gillmore. (Figura 14)
- Balanzas.
- Pesas.
- Probetas graduadas.

Temperatura y humedad

La temperatura del laboratorio, material y equipo deben mantenerse entre 20° y 27° C. La temperatura del agua de mezclado y la cámara de humedad no deben variar de 23° C \pm 2° C. La humedad relativa del laboratorio no será inferior a 50.

Preparación de la pasta de cemento

Siguiendo el procedimiento descrito en la preparación de mezcla para la consistencia normal se mezclan 650g del cemento con el agua necesaria para su consistencia normal.

Moldeado del espécimen

Con la pasta de cemento preparada y sobre una placa de vidrio cuadrada, plana y limpia de aproximadamente 4" por lado, se hace una pastilla de poco más o menos 7.5 centímetros de diámetro y 1.3 centímetros de espesor en la parte central, disminuyendo hacia los bordes. Para moldearla, se aplana primero la pasta de cemento sobre el vidrio moviendo la cuchara desde los bordes hacia el centro, aplanando a continuación la parte central superior, se coloca la pastilla en el cuarto húmedo, salvo cuando vaya efectuarse determinaciones del tiempo de fraguado.

Determinación de los tiempos de fraguado



Al determinar el tiempo de fraguado, se mantienen las agujas en posición vertical y se ponen en contacto ligeramente con la superficie de la pastilla. Se considera que el cemento ha alcanzado su fraguado inicial cuando soporte a las agujas de Gillmore inicial (la de menor masa), sin que marque huellas apreciables. Se considera que el cemento ha alcanzado su fraguado final cuando soporte la aguja de Gillmore Final (la de mayor peso), sin que marque huella apreciable (ASTM C266, 2015).



Figura 14. Aparato de Gillmore. (C. A. Díaz Ávila)

3.1.2. Arena

3.1.2.1. Muestreo y cuarteo

El objetivo de este ensaye es obtener una muestra representativa del tamaño adecuado, para realizar la prueba que se trate de una muestra de agregado a utilizar.



Equipo

- Charolas grandes de lámina.
- Palas de boca recta.
- Cucharones.
- Brochas o cepillos de pelo.
- Balanza o báscula.
- Divisor de muestras.
- Traza de plástico flexible de 40 x 40 centímetros.

Procedimiento

Existen tres procedimientos para efectuar el cuarteo en las muestras.

Método A “Cuarteo mecánico” (Procedimiento para divisor de muestras)

Se toma la muestra obtenida de campo y se vacía sobre la parte superior del divisor, procurando repartir el agregado sobre toda la longitud del divisor como se muestra en la figura 15.

El material recibido en uno de los dos recipientes del equipo se elimina o se reintegra de donde se extrajo, repetir este proceso hasta obtener una muestra del tamaño que se requiera.

Método B “Cuarteo manual” (Procedimiento por cuarto con palas)

1. Se vacía la muestra de material en una charola grande o en una superficie lisa completamente limpia, seca y libre de contaminantes para el agregado.
2. Se revuelve el material cambiándolo de un extremo a otro por medio de paleado, tratando de homogenizar todo el material, en este proceso se



procura apilar el material en forma cónica, este procedimiento se repite 3 veces.

3. Una vez concluido el paso anterior, el material apilado en forma cónica se aplana por la parte superior con la pala quedando una forma circular visto desde arriba, se procede a trazar dos líneas perpendiculares que pasen por el centro del círculo, eliminando dos porciones opuestas de las divisiones, el material sobrante es el que nos servirá para hacer las pruebas correspondientes. Si el tamaño de la muestra es muy grande al necesario el procedimiento anterior se repite.

Método C “Cuarteo Manual” (Procedimiento con el trozo de plástico)

Se usa cuando el material del piso pueda contaminar la muestra de agregado.

1. Se coloca un trozo de plástico sobre la superficie de una mesa, posteriormente se coloca el material en el centro del plástico.
2. Se levantan dos extremos opuestos del plástico hasta que se junten, y se regresan a su posición inicial, enseguida se repite este proceso con los dos extremos restantes del plástico, todo este proceso se repite hasta que se garantice una buena mezcla del agregado.
3. Se elimina la mitad del material, dejándolo caer en un recipiente jalando uno de los extremos del plástico al bordo de la mesa, cuando se elimina la mitad del material regresar a su posición original, de ser necesario repetir el procedimiento antes mencionado hasta obtener la cantidad de muestra deseada.



Para sea utilizado este último método y la muestra sea muy grande se puede utilizar una lona de aproximadamente 2.0 x 2.5 metros. El procedimiento es el mismo.



Figura 15. Cuarteo de marmolina por divisor de muestras. (C. A. Díaz Ávila)

Referencia: NMX-C-170-ONNCCE-2019

3.1.2.2. Humedad de absorción

Esta prueba tiene como objetivo determinar la capacidad máxima que tiene una arena de absorber agua, esta se expresara en porcentaje.

Equipo

- Una muestra representativa de aproximadamente 2 kilogramos.
- Una balanza con aproximación al décimo de gramo.
- Una parrilla eléctrica.
- Charolas metálicas.



- Un cono metálico (truncocónico).
- Un pisón.
- Una espátula.

Procedimiento

1. La muestra de aproximadamente 2 kg se pone a saturar en agua durante 24 horas, como mínimo, dicha muestra se obtiene por alguno de los métodos de cuarteo mencionados en la prueba anterior de este documento.
2. Al garantizar que el material está completamente saturado se seca superficialmente, por medio del molde truncocónico como se describe a continuación:

Para saber cuándo la arena está seca superficialmente se coloca el molde truncocónico dentro de la charola con el diámetro mayor hacia abajo, se llena el molde con la arena en tres capas distribuyendo 25 golpes dados con el pisón, dando 12 a la primera, 8 a la segunda y 5 a la tercera. Inmediatamente se retira el cono y si la arena trata de disgregarse quiere decir que ya está seca superficialmente, y si la arena conserva la forma del cono quiere decir que aún conserva agua en exceso por lo tanto hay que seguir secando el material hasta que se obtenga el secado superficial como se muestra en la figura 16, conforme se vaya perdiendo humedad hay que realizar más continuamente el procedimiento con el cono para evitar que se seque en exceso.



3. Cuando la arena esta seca superficialmente hay que pesar de inmediato una muestra de 300 gramos, registrando este peso como peso saturado y superficialmente seco (Mh).
4. La muestra de 300 gramos, se coloca en una charola para secarla hasta peso constante, o sea hasta eliminar completamente el agua.
5. Para saber cuándo el material este seco se coloca el cristal sobre el material, si no se empaña retiramos el material y lo dejamos enfriar un poco, procediendo a pesarlo y registrar el peso como peso seco del material (Ms), si aún se empaña el cristal hay que seguir secando el material para que se seque completamente.



Figura 16. Arena seca superficialmente (C. A. Díaz Ávila)

Cálculos

$$\% \text{ de humedad de absorción} = \frac{Mh - Ms}{Ms} * 100$$

Dónde;

Mh= Masa saturada y superficialmente seca (gramos).

Ms= Masa seca del material (gramos).

Referencia: NMX-C-165-ONNCCE-2014



3.1.2.3. Masa volumétrica seca y suelta (MVSS)

Esta prueba tiene como objetivo determinar la masa por unidad de volumen de una arena, cuando su acomodo es de forma libre o natural.

Equipo

- Una muestra de arena completamente seca.
- Un recipiente de masa y volumen conocido.
- Una varilla lisa punta de bala de 5/8 de diámetro.
- Una balanza o bascula.
- Un cucharón y una pala.

Procedimiento

1. Se vacía arena dentro del recipiente dejándose caer a una altura medida a partir de la arista superior del recipiente de aproximadamente 5 centímetros, distribuyendo de manera uniforme el material y llenando completamente el recipiente hasta formar un cono sobrepasado de la boca del recipiente.
2. Se enrasa el recipiente con la varilla y se limpia de partículas que puedan quedar en las paredes exteriores del recipiente, procediendo a pesarlo, la masa obtenida se le resta el peso del recipiente para obtener el peso de la arena.

Cálculos

$$M.V.S.S. = \frac{M}{V}$$

Dónde;

M.V.S.S.= Masa volumétrica seca y suelta (gr/cm³).

M= Masa de la arena (gramos).

V=Volumen del recipiente (cm³)



Referencia: NMX-C-073-ONNCCE-2004

3.1.2.4. Masa volumétrica seca y varillada (MVSV)

Esta prueba tiene como objetivo determinar la masa por unidad de volumen de una arena, cuando el material tiene una determinada compactación.

Equipo

- Una muestra de arena completamente seca.
- Un recipiente de masa y volumen conocido.
- Una varilla lisa punta de bala de 5/8 de diámetro.
- Una balanza o bascula.
- Un cucharón y una pala.

Procedimiento

1. Se vacía arena dentro del recipiente dejándose caer a una altura medida a partir de la arista superior del recipiente de aproximadamente 5 centímetros, distribuyendo de manera uniforme, el llenado del recipiente debe ser en tres capas, dando 25 golpes con la varilla punta de bala distribuidos en toda la superficie del material, debe cuidarse que la varilla no penetre en la capa inferior al dar los golpes.
2. Se enrasa el recipiente con la varilla y se limpia de partículas que puedan quedar en las paredes exteriores del recipiente, procediendo a pesarlo, la masa obtenida se le resta el peso del recipiente para obtener el peso de la arena.

Cálculos

$$M.V.S.V. = \frac{M}{V}$$

Dónde;



M.V.S.V.= Masa volumétrica seca y varillada (gr/cm^3).

M= Masa de la arena (gramos).

V=Volumen del recipiente (cm^3)

Referencia: NMX-C-073-ONNCCE-2004

3.1.2.5. Análisis granulométrico

Esta prueba tiene como objetivo pasar una muestra representativa de arena, por una serie de tamices, para conocer su distribución de los diámetros de sus partículas y módulo de finura.

Equipo

- Un juego de mallas con aberturas rectangulares del N° 4, 8, 16, 30, 50, 100, 200 y charola con su respectiva tapa (Figura 17).
- Una balanza o báscula con capacidad de 2160 gramos y aproximación al décimo de gramo.
- Charolas, espátulas y parilla eléctrica.
- Cepillos de cerdas y alambre.
- Hojas de papel.



Figura 17. Juego de mallas en raf-top. (C. A. Díaz Ávila)



Procedimiento.

1. Se toma una muestra de arena de aproximadamente 500 gramos (pesada al décimo de gramo) totalmente seca a peso constante.
2. Se colocan las mallas en orden decreciente (4,8,16,30,50,100 y charola), se coloca la muestra de 500 gramos y se tapa.
3. Se agita el juego de mallas durante un tiempo de 10 minutos como mínimo, el agitado puede ser manual o mecánicamente (Raf-tap).
4. Se procede a pesar el material retenido en cada una de las mallas con aproximación al décimo de gramo, anotando los pesos en el registro correspondiente. Para lo cual se invierten las mallas con cuidado y utilizando un cepillo de alambre en las mallas 4, 8, 16 y 30 para desalojar el material mientras que en las mallas 50 y 100 se limpian con un cepillo de cerdas.

Registro y cálculos

Tabla 5. Tabla de cálculo de curva granulométrica para arenas. (Sánchez, 2011)

| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |
|---------|------------------|---------------|------------------|---------------|
| MALLA | PESO RETENIDO | % RETENIDO | % ACUMULATIVO | % QUE PASA |
| 4 | | | | |
| 8 | | | | |
| 16 | | | | |
| 30 | | | | |
| 50 | | | | |
| 100 | | | | |
| CHAROLA | | | | |
| SUMA | | | | |

5. En la columna (2) anotan los pesos retenidos respectivos a cada malla.
6. La columna (3) se calcula con la siguiente formula:



$$\% \text{ retenido} = \frac{\text{peso retenido}}{\text{suma del peso retenido}} * 100$$

7. La columna (4), % acumulativo se calcula con los datos de % retenido (columna (3)), como sigue:

$$\% \text{ acumulativo} = \% \text{ retenido malla} + \% \text{ acumulativo anterior}$$

8. El porcentaje que pasa (columna (5)), se calcula de la siguiente manera:

$$\% \text{ Que pasa de la malla} = 100 - \% \text{ acumulativo de la malla}$$

Módulo de finura:

$$MF = \frac{\sum \text{de la malla \#8 hasta la \#100}}{100}$$

Recomendaciones y especificaciones

Para fines de este trabajo de investigación y con referencia a las Normas Mexicanas de la ONNCCE correspondientes para morteros estructurales, no estructurales y adhesivos, se recomienda que la granulometría este entre los siguientes límites indicados en la tabla 6 y la figura 18:

Tabla 6. Granulometría recomendada para morteros. (NMX-C-529-ONNCCE, 2017)

| Malla | | ARENA TRITURADA | | ARENA NATURAL | |
|-------|---------|-----------------|---------------|---------------|---------------|
| mm | " | LIM. INFERIOR | LIM. SUPERIOR | LIM. INFERIOR | LIM. SUPERIOR |
| 4.76 | 4 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 2.36 | 8 | 95 | 100 | 95 | 100 |
| 1.18 | 16 | 70 | 100 | 70 | 100 |
| 0.6 | 30 | 40 | 75 | 40 | 75 |
| 0.3 | 50 | 20 | 40 | 10 | 35 |
| 0.15 | 100 | 10 | 25 | 2 | 15 |
| 0.075 | 200 | 0 | 10 | | |
| | CHAROLA | | | | |



Gráfica:

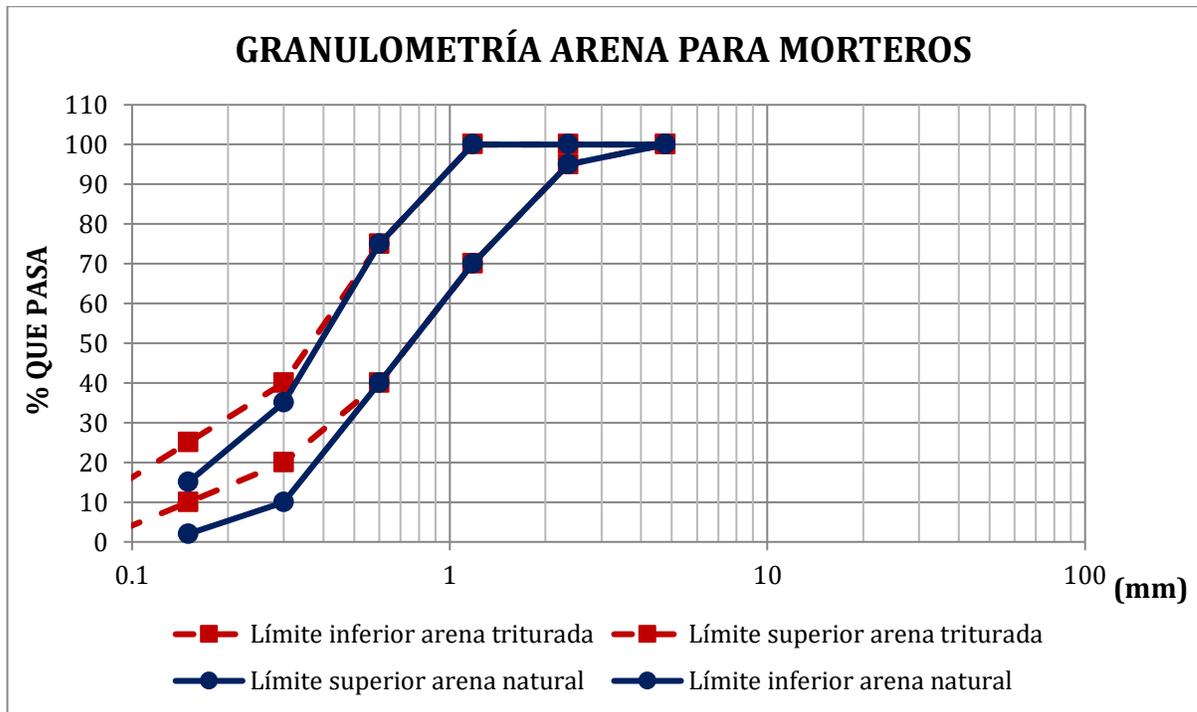


Figura 18. Granulometría recomendada para morteros (NMX-C-486-ONNCCE-2014)



Figura 19. Material retenido en cada malla. (C. A. Díaz Ávila)



3.1.2.6. Densidad

Esta prueba consiste en determinar el volumen efectivo de la arena, es decir el excluyendo los vacíos que se forman entre las partículas cuando estas se acomodan una sobre otra.

Equipo

- Muestra representativa de arena de aproximadamente 1000 gramos.
- Charolas.
- Espátulas.
- Parilla eléctrica.
- Molde troncocónico.
- Pisón.
- Probeta graduada.
- Frasco.
- Vidrio cóncavo.
- Balanza con aproximación al décimo de gramo.

Procedimiento

1. Se pone a saturar la arena durante 24 horas y se seca superficialmente utilizando el procedimiento de absorción descrito anteriormente con el uso del molde troncocónico.
2. En la probeta se coloca un volumen de agua conocido, registrándolo como volumen inicial (V_i) en cm^3 , enseguida se pesa una muestra de la arena seca superficialmente que sea de aproximadamente de 200 a 300 gramos (M_a).
3. Posteriormente se coloca la arena dentro de la probeta, procurando que no salpique agua para no ocasionar un error en la prueba, enseguida agitar la probeta para sacar el posible aire atrapado ente las partículas de la arena, la



adición de la arena en la probeta ocasionara un aumento de volumen en la misma, valor que registraremos como volumen final (Vf).

Cálculos.

La densidad de la arena se calcula de la siguiente manera:

$$DA = \frac{Ma}{Vf - Vi}$$

Dónde;

DA = Densidad de la arena (gr/cm³).

Ma= Masa de la arena seca superficialmente (gramos).

Vf-Vi =Volumen adicionado en la probeta (cm³)

3.2. Preparación de las adiciones empleadas a los morteros

Tabla 7. Adiciones empleadas en cada tipo de mortero. (C. A. Díaz Ávila)

| TIPO DE MORTERO / ADICIONES | USO ESTRUCTURAL | USO NO ESTRUCTURAL | ADHESIVOS |
|--|-----------------|--------------------|-----------|
| ¹ MUCÍLAGO DE NOPAL LIQUIDO | • | | |
| ¹ MUCÍLAGO DE NOPAL ANHIDRO | • | | |
| ¹ ALMIDÓN MODIFICADO (DEXTRINA) | | • | • |
| ¹ SURFACTANTE ORGANICO | | | • |
| ² SURFACTANTE SINTETICO | | • | |
| ¹ ÁCIDO CÍTRICO | | • | • |
| ¹ ESPESANTE CELULÓSICO | | • | • |
| ² REDUCTOR DE AGUA | | • | • |
| <p>1. Adición orgánica. 2. Adición sintética.</p> | | | |



3.2.1. Mucílago de nopal

La obtención del mucílago de nopal se consiguió en la ciudad de Morelia Michoacán, después de una amplia identificación de donde se podría extraer el cladodio, ya que debían de ser de una edad madura.

Una vez cortadas las pencas del nopal, se retiraron las espinas y se limpiaron con solo agua, para proceder a cortar los nopales en trozos de 1 x 1 cm aproximadamente.

Posteriormente se sometieron a exudar por cocción 30 minutos una vez que empezara a hervir como se muestra en la figura 20, se mantuvo tapado el recipiente para evitar la evaporación, se pusieron en cocción en dos diferentes proporciones la primera fue 1 kilo de nopal limpio y cortado por 3 litros de agua (MN 1:3), y la proporción faltante fue de 1 kg de nopal limpio y cortado por 4 litros de agua (MN 1:4), después del tiempo de cocción se retiró el recipiente del fuego y se dejó enfriar a temperatura ambiente y se hizo un filtrado de los líquidos para quitar la máxima cantidad posible de fibra de nopal.



Figura 20. Nopal cortado y puesto su respectiva agua para proceder a ponerlo en cocción. (C. A. Díaz Ávila)

Teniendo el mucílago de nopal filtrado en sus dos proporciones y el necesario para colar todos los especímenes requeridos, se toma la mitad del líquido de cada proporción para proceder a cuajarla en alcohol de caña grado 96° en una proporción igual al mucílago es decir por cada litro de mucílago líquido se agrega 1 litro de alcohol, dejando reposar durante 15 minutos para un posterior filtrado por un tamiz #200, lo retenido en la malla como se muestra en la figura 21 se procede a secar a 45° C por 24 horas, una vez transcurrido el tiempo de secado se procede a moler en un mortero de ágata el mucílago seco como se muestra en la figura 22.



Figura 21. Mucílago de nopal cuajado con alcohol 96°, y filtrado para su posterior secado. (C. A. Díaz Ávila)

Este proceso se hizo para las dos proporciones líquidas para después añadirlo en agua en la misma proporción en la que se secó, pues se obtienen diferentes cantidades en rendimiento según la dilución del mucílago, estas proporciones las podemos identificar como MNP 1:3 Y MNP 1:4 que quiere decir mucílago de nopal pulverizado en proporción 1:3 en líquido y mucílago de nopal pulverizado en proporción 1:4 en líquido respectivamente.



Figura 22. Mucílago de nopal anhidro y molido en mortero de ágata. (C. A. Díaz Ávila)

En la investigación se usaron cinco líquidos de amasado para la elaboración de morteros propuestos de uso estructural, uno de ellos es la mezcla **TESTIGO** en la que se usó solamente agua para el amasado, para la siguiente mezcla se usó mucílago líquido en proporción 1:3 que identificamos como **MN 1:3**, la siguiente mezcla con mucílago líquido en proporción 1:4 que identificaremos como **MN 1:4**, y dos mezclas más con mucílago de nopal pulverizado en la misma concentración que la usada en líquido que identificaremos como se mencionó anteriormente **MNP 1:3 Y MNP 1:4**.

3.2.2. Almidón modificado

El almidón nativo del maíz pasó por un proceso de modificación a dextrina como se menciona en el siguiente párrafo citado.



“Dextrinas amarillas o canarias. Se obtienen por tratamiento del almidón con trazas de ácido, a pH bajo y alta temperatura entre 150-220 °C, por largo tiempo de tostación de 6-18 horas. Presentan un distintivo color amarillo y tienen alta solubilidad en agua.” (Johanna Aristizábal, 2007)

Cabe mencionar que la temperatura a la que se modificó el almidón fue a 150° C en 18 horas y se usó ácido clorhídrico. Además de este proceso al final con la dextrina a temperatura ambiente se adicionó el 15% de bórax para mejorar las características de adhesividad y viscosidad como se menciona en la siguiente cita.

“Al agregar boratos a los adhesivos a base de almidón y dextrina, los fabricantes observan una mayor viscosidad, lo que permite una mayor adherencia, una unión más rápida y mejores propiedades líquidas. Estas cualidades son vitales para diversos sectores industriales, como el de embalaje, la construcción y de decoración del hogar. Los adhesivos tratados con boratos tienen menos probabilidades de salirse de los materiales pegados, permiten que la maquinaria funcione sin problemas y pueden ofrecer beneficios adicionales, p. ej., son ignífugos y protegen la madera.” (U.S. Borax Rio Tinto, 2021)

Esta adición fue utilizada en morteros de uso no estructural y adhesivos en los siguientes porcentajes: para morteros no estructurales se usará el 0.10%, 0.08%



y 0.05% en peso del total de la base total (cemento y agregados) y para morteros adhesivos se usará el 0.10% del peso de la base total.

3.2.3. Surfactante derivado del aceite de coco

Para esta investigación se utilizará un tensoactivo biodegradable derivado del aceite de coco, que se adquirió en una tienda naturista en forma de escamas muy finas (polvo). Esta adición fue empleada en morteros adhesivos al 0.26% en base del peso del cemento.

El uso de esta adición es con fines de incorporar aire en las mezclas de mortero y aumentar la trabajabilidad del mismo.

3.2.4. Surfactante lauril sulfato de sodio

Para esta investigación se utilizó un tensoactivo aniónico, que se adquirió en una tienda naturista concentrado al 28%. La adición fue incorporada en morteros de uso no estructural al 0.30% en base del peso del cemento.

El uso de esta adición es con fines de incorporar aire teniendo como hipótesis una mejora en la trabajabilidad en el mortero, para fines de un mejor control en el contenido de cada compuesto en las mezclas es importante considerar la concentración para tomar en cuenta el agua que contiene el producto adquirido y reportarlo en las pruebas necesarias.



3.2.5. Ácido cítrico

El ácido cítrico utilizado en las mezclas de mortero es de una marca conocida como D Grace, y se empleó en morteros no estructurales al 0.15%, 0.10% y 0.08% respecto de la base total (cemento y agregados pétreos), al igual que para los morteros adhesivos.

3.2.6. Espesante celulósico

La carboximetilcelulosa (CMC) es un espesante orgánico que se adquirió del proveedor DEIMAN S.A. de C.V. La adición para morteros no estructurales y adhesivos fue del 0.15%, 0.10% y 0.08% del peso total de la base (cemento y agregados pétreos).

3.2.7. Reductor de agua

El reductor de agua utilizado para esta investigación se adquirió de la empresa Construaditivos S.A. de C.V. en Morelia, Michoacán. El producto es identificado por la empresa como DYWELL, que es un dispersante aniónico de alto peso molecular, reductor de agua, que se usó en 0.60%, 0.30% y 0.15% en base al peso del cemento para morteros no estructurales y adhesivos.

3.2.8. Resina

La resina utilizada en esta investigación es en base de poli acetato de vinilo (PVA) y por cuestiones de dificultad para adquirirla en presentaciones chicas se usó de un producto del mercado conocido como Resistol 850 que en su ficha de



seguridad nos menciona que su contenido es de PVA y que aproximadamente tiene un 55% de concentración, se usara en morteros adhesivos al 0.60%, 0.40% y 0.20% del peso de la base total (cemento y agregado pétreo).

Es importante considerar la concentración para tomar en cuenta el agua presente en la adición y reportarla en las pruebas o resultados necesarios.

3.3. Pruebas al mortero fresco

3.3.1. Fluidez

La fluidez en los morteros es una medida que nos indica el contenido de agua necesaria para que la mezcla de mortero sea manejable, plástica y dúctil. En seguida se explica cómo realizar la prueba.

Equipo

- Mesa de fluidez (Manual o eléctrica).
- Aceite SAE-10.
- Molde respectivo de la mesa de fluidez.
- Calibrador.
- Varilla o pisón de 5/8" para compactar.

Procedimiento

1. Lubricación del eje vertical de la mesa de fluidez con el aceite SAE-10, cuidando de no contaminar otras partes de la mesa de fluidez. Una vez lubricado se recomienda dejar caer 12 veces.
2. El molde de la mesa de fluidez debe ser de bronce o latón y debe tener un diámetro en la boca superior de 70 mm, en la base se definirá de acuerdo a



la mesa de fluidez, cuidando que el molde quede justo en el centro y perpendicularmente a las líneas trazadas en la mesa.

3. El calibrador se usará para medir el diámetro del mortero después de ser extendido.
4. Se deberá humedecer y limpiar la parte superior de la mesa sin tener un exceso de agua todo para poder realizar el ensaye, se centra el molde en la mesa, y se llena en dos capas que en total den el volumen para llenar el molde, en cada una de las capas se compacta la mezcla con 20 golpes con el pisón distribuidos en toda el área teniendo cuidado de no penetrar la capa anterior, al finalizar se enrasa y se remueve el exceso de mortero, el molde se retira con un tirón vertical y firme hacia arriba.
5. La mesa debe tener una leva que deje caer 1.27 cm 25 veces durante 15 segundos, haciendo girar la leva a una velocidad uniforme, la suma de los diámetros del mortero extendido en las 4 líneas a 45° de la mesa de fluidez será la fluidez.
6. Para morteros con cemento CPC la cantidad de agua será la necesaria para cumplir una fluidez de 110 ± 5 como se muestra en la figura 23.

(NMX-C-061-ONNCCE, 2015)

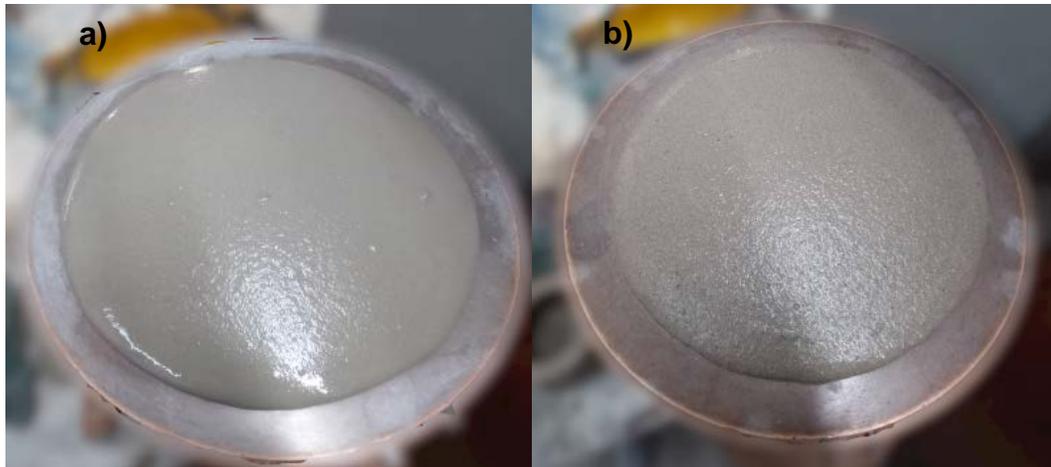


Figura 23. a) *Fluidez en mortero adhesivo*, y b) *Fluidez en mortero con mucílago de nopal* (C. A. Díaz Ávila)

3.3.2. Ph

Para verificar si los morteros trabajados en esta investigación siguen con un Potencial de Hidrogeno (Ph) alcalino correspondiente al cemento, por las adiciones empleadas, se usarán tiras de papel indicadoras de pH, comparando visualmente y con la ayuda de la tabla de colores de las tiras en qué valor de alcalinidad se encuentra cada mezcla como se muestra en la figura 24.

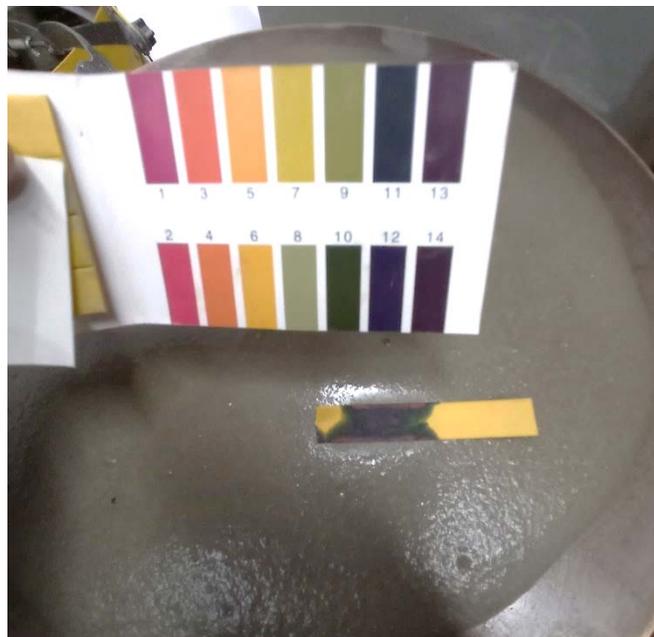


Figura 24. *pH en la mezcla de mortero*. (C. A. Díaz Ávila)



3.3.3. Temperatura

La temperatura del estado fresco de las mezclas de mortero es una propiedad que influye en la reacción del cemento con el agua y puede influir también en las adiciones, se utilizó un termómetro digital infrarrojo para hacer estas lecturas y registrarlas para cada mezcla elaborada por separado. La temperatura no debe estar muy alejada de la temperatura ambiente del día de elaboración de la mezcla.

3.3.4. Tiempo abierto

Intervalo máximo de tiempo que transcurre después de que el adhesivo se ha extendido en el sustrato, durante el cual las piezas pueden ser colocadas y quedar bien adheridas, esto antes de la formación de una película superficial que evita la humectación y adherencia de la pieza. (NMX-C-420-1-ONNCCE, 2017).

Para la determinación del tiempo abierto de un mortero adhesivo se ocuparon los siguientes materiales y equipos.

Materiales

- Mezcla de adhesivo propuesto.
- Placa de concreto.
- Losetas cerámicas de 50 x 50 mm de alta absorción.

Equipo

- Cronometro que aprecie segundos.
- Llana dentada con dientes de 6mm x 6mm y espacios de 6mm.
- Pesas de 2kg de sección cuadrada de 5 x 5 cm.
- Lamina de acrílico transparente de al menos 5 cm x 5cm, con una cuadrícula de 5mm x 5mm marcada en una de las superficies.

Procedimiento



1. Preparar la mezcla de mortero adhesivo con la cantidad de agua recomendada por el fabricante. (En este caso será la cantidad de agua que nos dé una fluidez de 110 ± 5).
2. Extender mezcla adhesiva sobre la placa de concreto y extender con el lado liso de la llana y peinar con el lado dentado con una inclinación aproximada de 60° , asegurando que queden surcos en una sola dirección de aproximadamente 5 mm. Inmediatamente después se acciona el cronómetro.
3. Colocar una loseta e inmediatamente colocar la pesa suavemente al centro de esta, pasados 30 segundos retirar la pesa y levantar la loseta.
4. Colocar la loseta con la cara cubierta de mezcla viendo hacia arriba y colocar la lámina de acrílico sobre ella, contar el número de cuadros que presentan mezcla en al menos 50% de su área.
5. Repetir los pasos 3 y 4 con losetas a cada 2 minutos después de extendida la mezcla hasta que el número de cuadros contados en la cuadrícula sea menor al 50% del total.

De acuerdo con los datos se definirá como “tiempo abierto” el último valor de tiempo donde se tiene que el número de cuadros del acrílico es cubierto igual o mayor que el 50% del total, un ejemplo se observa en la figura 25.

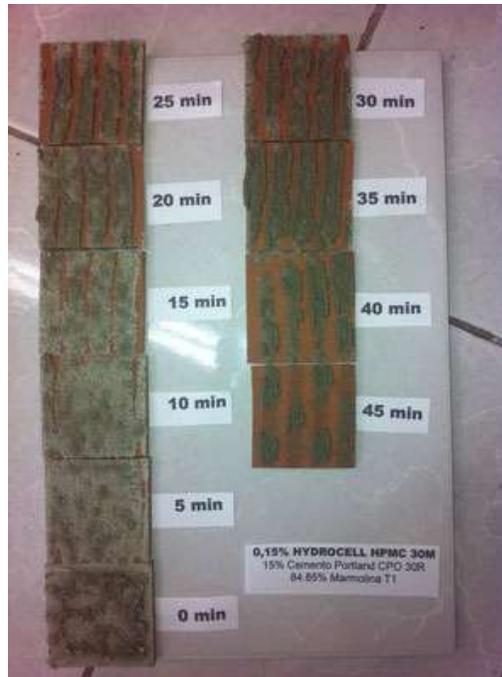


Figura 25. Tiempo abierto de una mezcla adhesiva. (CONSTRUADITIVOS, 2021)

3.3.5. Deslizamiento

Distancia que se desplaza una loseta cerámica de ciertas características, instalada con una mezcla de mortero adhesiva en una superficie de concreto verticalmente.

Materiales

- Mezcla de adhesivo propuesto.
- Placa de concreto.
- Losetas cerámicas de 10 cm x 10 cm de nula absorción de agua y un espeso de 8 mm a 10 mm, no deben tener esmalte y deben tener un peso de 200 ± 10 gr.

Equipo

- Calibrador Vernier con precisión de 0.01 mm
- Llana dentada con dientes de 6mm x 6mm y espacios de 6mm.
- Pesas de kg de sección cuadrada de 15cm x 15cm.

Procedimiento



1. Preparar la mezcla de mortero adhesivo con la cantidad de agua recomendada por el fabricante. (En este caso será la cantidad de agua que nos dé una fluidez de 110 ± 5).
2. Extender mezcla adhesiva sobre la placa de concreto y extender con el lado liso de la llana y peinar con el lado dentado con una inclinación aproximada de 60° , asegurando que queden surcos en una sola dirección de aproximadamente 5 mm.
3. Colocar una loseta e inmediatamente colocar la pesa suavemente al centro de esta, pasados 30 segundos retirar la pesa.
4. Marcar con una línea en el adhesivo siguiendo el filo superior de la pieza de cerámica con una espátula, colocar la placa de concreto de manera vertical y esperar 10 minutos en esta posición como se muestra en la figura 26.
5. Transcurrido el tiempo colocar la placa de concreto de manera horizontal y medir el desplazamiento en tres lecturas desde la línea marcada a el filo superior de la loseta, dos en cada esquina de la loseta y una al centro.

El deslizamiento será el promedio de las tres lecturas con una precisión de 0.01 mm.



Figura 26. Deslizamiento de loseta cerámica adherida con mortero. (C. A. Díaz Ávila)

3.4. Elaboración de especímenes de pruebas

Para elaborar las probetas correspondientes a cubos, primas, cilindros y briquetas se necesitan moldes que deben cumplir con ciertas características, como el que estén fabricadas de algún material que no sea absorbente, permeable ni reactivo con el cemento, de ser necesario se puede agregar un material sellador por la parte externa de los moldes, y para la parte interna se puede hacer el uso de un desmoldante. (NMX-C-159-ONNCCE, 2004)



Figura 27. Elaboración de especímenes (C. A. Díaz Ávila)

Tabla 8. Identificación de cada mezcla por su uso. (C. A. Díaz Ávila)

| TIPO DE MORTERO | IDENTIFICACIÓN POR MEZCLA |
|---------------------------|---------------------------|
| USO ESTRUCTURAL | MN 1:3 |
| | MN 1:4 |
| | MNP 1:3 |
| | MNP 1:4 |
| | TESTIGO |
| USO NO ESTRUCTURAL | 1-Arena Blanca |
| | 2-Arena Blanca |
| | 3-Arena Blanca |
| | 1-Marmolina |
| | 2-Marmolina |
| | 3-Marmolina |
| ADHESIVOS | A-Blanca |
| | A-Marmolina |
| | B-Blanca |
| | B-Marmolina |
| | B-Sílice |
| | C-Marmolina |
| | C-Sílice |



3.4.1. Probetas cúbicas

En la elaboración de los cubos de las diferentes mezclas para los tres tipos de morteros analizados en esta investigación, se usaron moldes recubiertos con aceite quemado rebajado con diesel en proporción 1:1 en volumen, esto para actuar como desmoldante y facilitar el descimbrado de los especímenes, se debe cuidar engrasar los moldes con la cantidad suficiente sin tener excesos para evitar contaminaciones en las mezclas.

Una vez mezclada una por una de las diferentes mezclas de morteros se procede a realizar la prueba de fluidez para garantizar que este en los límites del ensaye, al terminar la prueba se vuelve a homogenizar la mezcla de mortero en el recipiente donde se elaboró, se procede a llenar los moldes en 2 capas de 25 mm aproximadamente en cada capa se deben dar 16 golpes con el pisón distribuidos como se muestra en la figura 28.

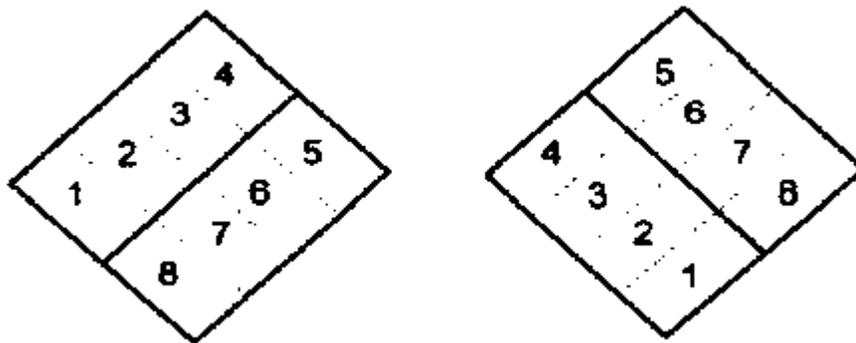


Figura 28. Compactación en cubos por capa. (NMX-C-061-ONNCCE, 2015)

Después del llenado de cada capa los moldes se dejan caer verticalmente aproximadamente de una altura de 5 cm, esto para sacar la mayor cantidad de aire atrapado.



Una vez fabricados el número necesario de cubos para cada edad de los diferentes tipos de morteros, se dejaron fraguar en sus moldes, para los morteros adicionados con mucílago se dejaron aproximadamente 72 h oras por el lento fraguado del cemento al usar esta adición, para morteros adhesivos y no estructurales se varió el tiempo de desmolde ya que al usar diferentes porcentajes en las adiciones, estas presentaban diferentes tiempos de fraguado, algunas de las mezclas duraron hasta una semana en poder desmoldarse. (En el capítulo siguiente se puede observar una tabla con el tiempo que duró cada mezcla en su molde para poder ser desmoldada). Para las mezclas testigo fue posible desmoldar a las 24 horas, sin embargo, se dejaron el mismo tiempo que con las mezclas que se compararon para una mejor interpretación y comparación con el uso de las respectivas adiciones. Todas las muestras fueron etiquetadas después del descimbrado para pasar a curarlas.

3.4.2. Probetas prismáticas

Para la elaboración de primas de 4 cm x 4 cm de sección y 16 cm de largo se hizo el uso de moldes de acero, lo cuales fueron previamente engrasados y limpiados, una vez elaborada la mezcla de mortero estos se llenan en dos capas dando 25 compactaciones distribuidas por cada capa en cada prisma cuidando de no penetrar la capa anterior y dejando caer el molde de una altura aproximada de 5 cm de la base 5 veces para sacar el aire atrapado en cada capa.



Figura 29. Elaboración de prismas (C. A. Díaz Ávila)

3.4.3. Briquetas

Para la elaboración de briquetas se utilizó un molde de bronce que fue limpiado y engrasado antes y después de cada uso, es un molde que puede ser desmoldado al instante sobre una superficie lisa y engrasada en este caso se usó un cristal, el molde se llena en una sola capa y se comprime con el dedo pulgar, dando 25 golpes en capa extremo de cada briqueta para proceder a enrasar con una espátula y retirar el molde verticalmente y lentamente, como ejemplo en la figura 30 que muestra las briquetas aun frescas y el molde listo para elaborar más de estas.

Transcurrido el tiempo de fraguado de cada una de las mezclas de mortero que se analizaron en esta investigación se procedieron a etiquetar y curar los especímenes.



Figura 30. Fabricación de briquetas. (C. A. Díaz Ávila)

3.4.4. Cilindros

Para la elaboración de cilindros de 5cm de diámetro y 10 cm de largo se hizo el uso de moldes de acero normados, lo cuales fueron previamente engrasados y limpiados, una vez elaborada la mezcla de mortero estos se llenan en dos capas dando 25 compactaciones distribuidas por cada capa en cada cilindro como se muestra en la figura 31, cuidando de no penetrar la capa anterior y dejando caer el molde de una altura aproximada de 5 cm de la base 5 veces para sacar el aire atrapado en cada capa.



Figura 31. Proceso de elaboración de cilindros de mortero. (C. A. Díaz Ávila)

3.5. Descimbrado y curado de especímenes

El desmolde de los especímenes de mortero fue en el lugar donde se elaboraron, variando el tiempo de desmolde en cada mezcla, ya que en ciertas mezclas no era posible el desmoldeo del espécimen sin dañarlo ya que estos aún se encontraban frescos y se disgregaban o cuarteaban, en la tabla 9 se tiene el tiempo en el que fue factible el desmolde de los especímenes, cabe mencionar que para las mezclas testigo era factible el desmolde a las 24 horas de ser colados, sin embargo las mezclas que se van a comparar entre si se desmoldaron al mismo tiempo que las de comparación.



Tabla 9. Tiempo de descimbrado de los especímenes. (C. A. Díaz Ávila)

| Tipo de mortero | Mezcla | Tiempo en el que se pueden descimbrar | Tiempo en el que se descimbró |
|-------------------------|----------------|---------------------------------------|-------------------------------|
| ESTRUCTURALES | MN 1:3 | 72 horas | 72 horas |
| | MN 1:4 | 72 horas | 72 horas |
| | MNP 1:3 | 24 horas | 72 horas |
| | MNP 1:4 | 24 horas | 72 horas |
| | Testigo | 24 horas | 72 horas |
| NO ESTRUCTURALES | 1-Arena Blanca | 5 días | 5 días |
| | 2-Arena Blanca | 3 días | 5 días |
| | 3-Arena Blanca | 3 días | 5 días |
| | 1-Marmolina | 4 días | 5 días |
| | 2-Marmolina | 3 días | 5 días |
| | 3-Marmolina | 3 días | 5 días |
| ADHESIVOS | A-Blanca | 3 días | 3 días |
| | A-Marmolina | 2 días | 3 días |
| | B-Blanca | 3 días | 3 días |
| | B-Marmolina | 2 días | 3 días |
| | B-Sílice | 2 días | 3 días |
| | C-Marmolina | 2 días | 3 días |
| | C-Sílice | 2 días | 3 días |

Para el curado de los especímenes de mortero adicionado con mucílago de nopal se optó por almacenar los especímenes previamente mojados en toda el área de sus caras exteriores, para proceder a almacenarlos en bolsas de plástico como se muestra en la figura 32 garantizando que no se pierda humedad, rociando agua dentro de cada bolsa cada tercer día para garantizar que exista una humedad alta



dentro de esta. Esto se realizó al tener en cuenta que el mucílago de nopal es un polisacárido altamente soluble en agua, es decir si lo curamos en inmersión de agua podría perderse gran cantidad del polisacárido o bien fermentarse y afectar los resultados.



Figura 32. Curado de especímenes de mortero con mucílago de nopal. (C. A. Díaz Ávila)

Para morteros no estructurales y adhesivos no se siguió un proceso de curado, es decir una vez desmoldados los especímenes se almacenaron en el mismo sitio donde se colaron y desmoldaron, en un lugar seguro y lejos de contaminantes. La razón por la que se trabajó de esta manera es tener un valor más real de las pruebas realizadas a como se trabajan en campo, es decir la práctica este tipo de mezclas no son curadas en la mayoría de los casos, y otra de las razones es que los aditivos empleados en estas mezclas tienden a retener humedad por mucho tiempo, esto se observa en el tiempo que se requiere para desmoldarlos,



tomando en cuenta que aun desmoldados duran otro cierto tiempo (dependiendo las mezclas) en perder la alta humedad que contienen.

3.6. Pruebas al mortero endurecido

3.6.1. Pruebas no destructivas

3.6.1.1. Resistividad eléctrica

Es la capacidad de flujo de una corriente eléctrica, que nos indica la probabilidad de que un concreto o mortero en estado endurecido tenga alta, media o baja probabilidad de corrosión, carbonatación o ataque por agentes dañinos para el cemento. La resistividad se puede determinar mediante dos métodos.

Método A. Resistividad eléctrica real, se usa en elementos saturados en agua, comúnmente es el método que se aplica en los laboratorios (figura 33).

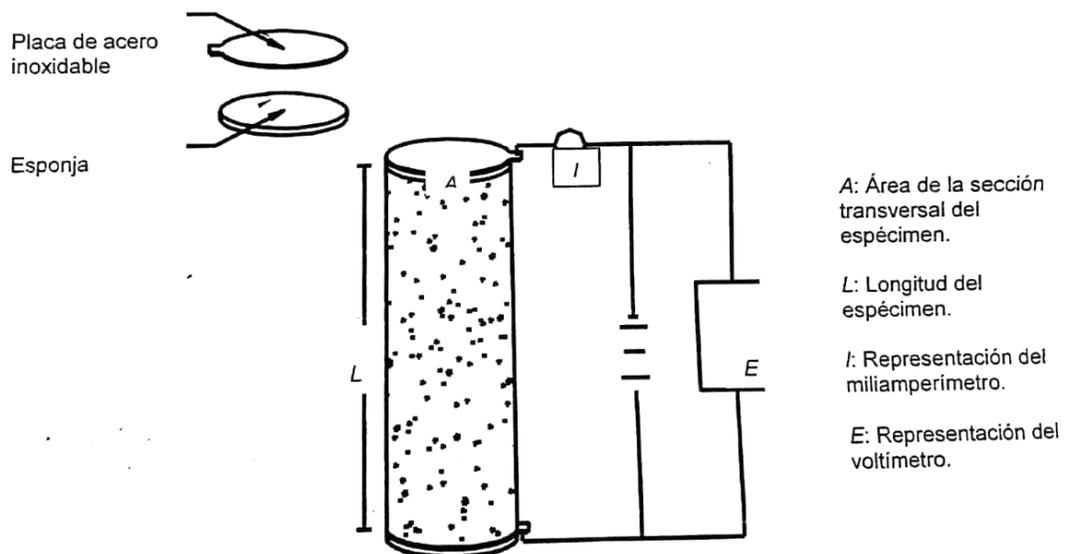


Figura 33. Resistividad eléctrica real (NMX-C-514-ONNCE, 2016)



Método B. Resistividad eléctrica aparente, se usa en elemento no saturados con agua, es decir se puede aplicar en campo en un elemento que se encuentre trabajando en una estructura (figuras 34 y 35).

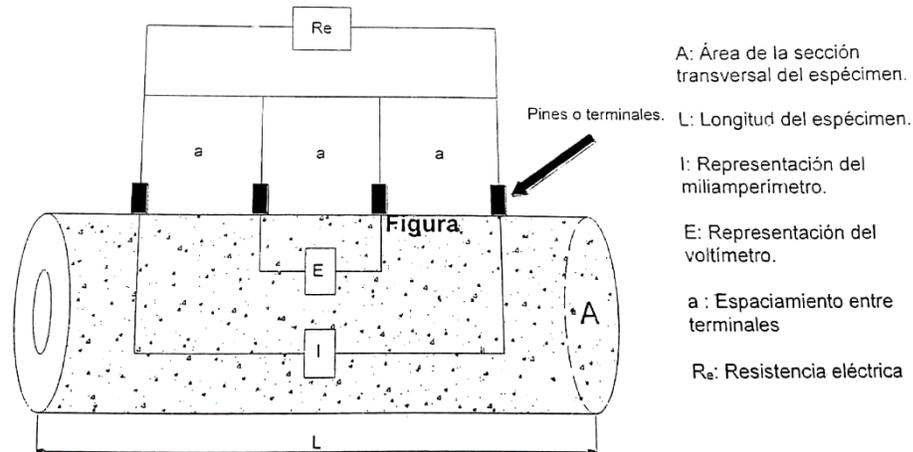


Figura 34. Resistividad eléctrica aparente (NMX-C-514-ONNCE, 2016)

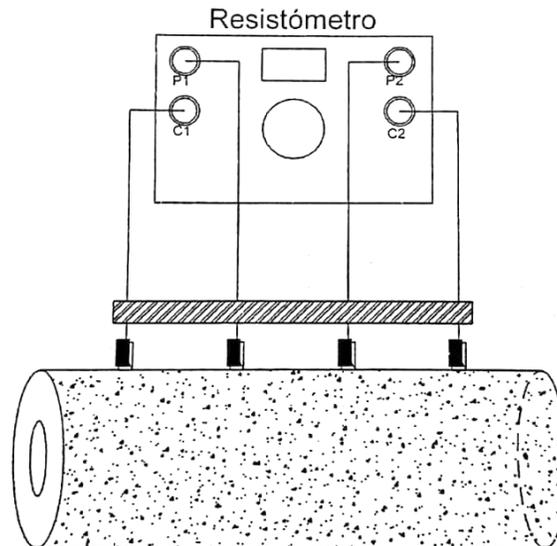


Figura 35. Resistividad eléctrica aparente (NMX-C-514-ONNCE, 2016)

Esta prueba solo se realizó en morteros propuestos para uso estructural, que son los adicionados como mucílago de nopal.

Equipo



- Resistómetro
- Flexómetro o Vernier
- Esponjas

Procedimiento

1. Se mide el espécimen (cubos, primas y cilindros). A los cubos se les tomaron medidas de lado 1, lado 2 y espesor registrándolas y marcando las caras para no tener confusión en las medidas.
2. En los prismas, se tomaron medidas de la base, espesor y longitud y en el caso de los cilindros se tomaron las medidas de su diámetro y su longitud.
3. Se ajusta el amperímetro y el voltímetro y se monta la probeta en el resistómetro. Los cubos se acomodan de acuerdo al lado que tenga menos imperfecciones, no por la cara de colado. En los prismas y los cilindros se colocan las placas a cada extremo de su longitud.
4. Se verifica que haya contacto de los caimanes con las placas metálicas, y que las placas hagan buen contacto con la probeta a ensayar.
5. Mediante la fuente y a través de las placas metálicas adosadas a las caras laterales del espécimen, se somete éste a una corriente específica, (I)
6. Se registra el voltaje (E) obtenido del aparato.

Cálculos

La resistencia eléctrica, R_e , se calcula como E/I y se expresa en ohm. De esta manera la resistividad eléctrica está dada por:



$$\rho = Re \frac{A}{L}$$

Dónde;

ρ =Resistividad eléctrica (ohm-cm).

Re=Resistencia eléctrica (Volts).

A=Área transversal del espécimen (cm²).

L=Longitud del espécimen (cm).

Parámetros

Tabla 10. Clasificación de probabilidad de corrosión según la NMX-C-514-ONNCCE-2016.

| Resistividad | Probabilidad de corrosión |
|--------------------|---------------------------|
| >100 a 200 Kohm-cm | Muy baja |
| 50 a 100 Kohm-cm | Baja |
| 10 a 50 Kohm-cm | Moderada o alta |
| <10 Kohm-cm | Muy alta |

3.6.1.2. Módulo de elasticidad dinámico

Es la relación existente entre los esfuerzos y las deformaciones unitarias del mortero o concreto, en la zona en la que estas son proporcionales entre sí.

Equipo y materiales

- Máquina de pruebas.
- Medidor de deformaciones longitudinales.
- Balanza con aproximación al 0.05 kg.
- Especímenes de ensaye (cilindros de 5 cm de diámetro por 15 de altura, previamente cabeceados con azufre).

Procedimiento

1. Se obtienen 4 cilindros mínimo para la prueba, 1 para realizar la prueba por compresión y tres para realizar la prueba de módulo elástico, para obtener un promedio con los resultados obtenidos de la



prueba. En la figura 36 se muestran especímenes preparados para la prueba de módulo de elasticidad.



Figura 36. Cilindros cabeceados con azufre. (C. A. Díaz Ávila)

- 2) Se obtiene el dato de carga del espécimen que se ensayó a compresión, y con este dato se obtuvo el valor de una precarga que se aplicará a los especímenes, del 10% de la carga total del espécimen de prueba, tal como se establece en la normativa mexicana NMX-C-128-ONNCCE-1997.
- 1) A los especímenes se instalan en los anillos de del medidor de deformaciones y se ajusta el micrómetro en cero, se pasa a la máquina de pruebas y se aplica la precarga calculada anteriormente, se verifica que se tienen deformaciones y al quitar la carga el micrómetro llegue de nuevo a cero como se muestra en la figura 37, de no ser así ajustar de nuevo el equipo y repetir la aplicación de la carga.



- 2) Se continúa aplicando carga lenta y anotando las deformaciones a cada cierto intervalo de tiempo, para esta investigación se anotaron cargas a cada 0.002 mm de deformación hasta llegar al 60% de lo que resistió el espécimen de ensaye a compresión.



Figura 37. Cilindro en prensa hidráulica, con medidor de deformaciones instalado. (C. A. Díaz Ávila)

Cálculos

$$E = \frac{S_2 - S_1}{e_2 - 0.000050}$$

Dónde;

S_1 = Esfuerzo en kg/cm², correspondiente a la deformación unitaria e_1 de 0.000050.

S_2 = Esfuerzo en kg/cm², correspondiente al 40% del esfuerzo máximo.

e_2 = Deformación unitaria correspondiente al esfuerzo S_2 .

3.6.1.3. Densidad

La prueba de densidad se realizó a 3 especímenes de cada mezcla de mortero, y tiene como objetivo el conocer la relación entre el volumen de un mortero entre su peso sin contemplar los poros.



Equipo

- Picnómetro.
- Probeta graduada.
- Balanza con aproximación al décimo de gramo.
- Agua.
- Hilos.

Procedimiento

1. Se obtienen 3 especímenes por mezcla, secos superficialmente, se pesan y se registra su masa.
2. Se coloca el picnómetro en una superficie plana y se llena con agua hasta que sobrepase el nivel del orificio, se deja reposar durante 10 minutos a que se estabilice el agua al nivel del orificio y deje de salir agua.
3. Se procede a colocar el espécimen dentro, y el agua desalojada deber ser recibida en una probeta graduada hasta que escurra totalmente, se deja reposar 10 minutos más con el espécimen dentro y se anota el volumen desalojado como el volumen del espécimen.

Cálculos

$$D = \frac{M}{V}$$

Dónde;

D= Densidad en g/cm³.

M= Masa del espécimen en gramos.

V= Volumen del espécimen en cm³.



3.6.2. Pruebas destructivas

3.6.2.1. Compresión simple

El ensaye se realizó a todas las mezclas de esta investigación, los resultados son comparados y se verifica si cumplen con la normativa mexicana correspondiente.

Equipo y materiales

- Máquina de pruebas (prensa).
- Vernier.
- 3 cubos de mortero mínimo por mezcla, elaborados como se menciona anteriormente en este documento.

Procedimiento

Se identifican las muestras a probar y su respectiva edad, se anotan sus dimensiones de la cara que estará en contacto con la platina de la prensa, se lleva muestra por muestra a la prensa y se aplica carga lenta hasta que el espécimen falle.

Se registra la carga soportada, una breve descripción de la falla y observaciones.

Cálculos

$$R = \frac{W}{A}$$

Dónde;

R= Resistencia a la compresión kgf/cm².

W= Carga de ruptura del espécimen en kgf.

A= Área de la cara del espécimen en contacto con la platina de la prensa en cm².



3.6.2.2. Flexión

Para la flexión se hizo el uso de los prismas y sólo se probaron las mezclas para morteros estructurales adicionados con mucílago de no pal y sus testigos. Se prueban mínimo 3 especímenes por mezcla.

Equipo

- Máquina de prueba.
- 3 redondos lisos de $\frac{1}{4}$ de pulgada y mínimo de 4 cm de longitud.

Procedimiento

El espécimen debe probarse en las caras paralelas, que quedan lisas después del desmolde, posteriormente se obtienen las medidas de cada espécimen (ancho y peralte) y se deben marcar con un crayón las líneas donde quedarán los apoyos, es decir, una marca al centro y dos más a sus extremos quedando 2 centímetros alejadas del borde, se recomienda marcas dos líneas más a $\frac{1}{3}$ de la longitud del prisma y una más a $\frac{2}{3}$, esto para identificar donde es la falla una vez probada el espécimen.

Se pasa a la máquina de pruebas y se colocan dos redondos lisos en la base que coincidan con las dos marcas de los extremos del espécimen, después se coloca el espécimen y justo al centro en la línea marcada se coloca el redondo liso, para proceder a bajar la platina y aplicar carga lenta esta la falla, como se muestra en la figura 38.

(AENOR UNE-EN 196-1, 2005)



Figura 38. Prisma instalado en prensa hidráulica para aplicar flexión. (C. A. Díaz Ávila)

Cálculos

Si la fractura ocurre en el tercio medio del claro, como se muestra en la figura 39, el módulo de ruptura de calculará con:

$$R = \frac{PL}{bd^2}$$

Si la fractura ocurre fuera del tercio medio del claro, dentro del 5% del claro, el módulo de ruptura de calculará con:

$$R = \frac{3Pa}{bd^2}$$

Dónde;

R= Módulo de ruptura en kgf/cm².

P= Carga de ruptura del espécimen en kgf.

L= Claro del espécimen en cm.

b= Ancho promedio del espécimen en cm.

d= Peralte promedio del espécimen en cm.

a= Distancia entre la línea de falla y el apoyo más cercano.

Si la falla ocurre fuera del tercio medio en más del 5% del claro, los resultados deben descartarse.



Figura 39. Falla deseada en los especímenes. (C. A. Díaz Ávila)

3.6.2.3. Tensión directa

Esta prueba se realizó en todas las mezclas de mortero de esta investigación, se prueban mínimo 3 especímenes de briquetas por mezcla, para obtener un promedio con los resultados semejantes.

Equipo

- Máquina de pruebas con mordazas especiales para briquetas de mortero.
- Municiones o postas para aplicar carga.
- Una balanza o báscula con aproximación al gramo.

Procedimiento

Se sacan las briquetas a probar, deben estar secas en su superficie, se toman medidas de la sección media de la briqueta y se registran, se llevan a la



máquina de pruebas y se instala en las mordazas con cuidado de no ejercer cargas considerables a la briqueta.

Se pone a nivel la máquina de pruebas, y se colocan las municiones en la tolva de la maquina poco a poco y sin dejarlas caer para evitar una falla por impacto (figura 40).

Cuando falle la briqueta se retiran las municiones y se pesan, será considerada la carga que soporto la sección media de la briqueta.

(Instituto Nacional de Vias, 2007)



Figura 40. Prueba de tensión directa en briquetas. (C. A. Díaz Ávila)

Cálculos

$$R = \frac{Mm * 50}{Sm}$$

Dónde;

R= Módulo a la tensión directa en kgf/cm².

Mm= Masa de las municiones o carga de ruptura en kgf.

Sm= Sección media de la briqueta en cm².



3.6.2.4. Adherencia

Una de las características distintivas que tiene un buen mortero es la de la adherencia, esta propiedad debe estar presente en todos los morteros pues son muchos usos que se les dan sin importar el tipo de mortero que fuera, sin embargo, se para esta investigación se probaran de forma distinta los morteros adhesivos que los morteros estructurales y no estructurales.

Para los morteros estructurales y no estructurales se llevará a cabo la adherencia rápida, es decir con una cuchara de albañilería se azotará en una superficie de concreto y se determinará si la mezcla queda adherida. Para la prueba mencionada anteriormente se usaron vigas de concreto como superficie de repello de un $f'c=200 \text{ kg/cm}^2$ como mínimo.



Figura 41. Repello en vigas de concreto con cuchara de albañilería. (C. A. Díaz Ávila)



Para los morteros adhesivos se usó adherencia por tensión o adherencia tipo Pull-Off, que consiste en adherir la mezcla de mortero con la losa y enseguida se adhiere una loseta cerámica de 5cm x 5cm según el tipo de mortero propuesto respecto con la norma NMX-C-420-1-ONNCCE-2017; se deja secar hasta un día antes de la prueba, y se adhiere un elemento llamado Doli con resina epóxica en cada loseta cerámica como se muestra en la figura 43a, para que al día siguiente se pueda hacer la prueba con el equipo Pull-Off como se muestra en la figura 43b. Para esta prueba son necesarias 9 ensayos por mezcla, es decir 9 losetas de 5cm x 5cm para obtener un promedio e identificar el tipo de falla y que las pruebas se realizaron dos losas de 1m² x 8cm de espesor con un $f'c=200$ kg/cm². Todo este proceso se realizó por duplicado sólo agregando que una de las losas se sumergió en agua una vez pegadas las losetas cerámicas y fraguado el mortero, para esto la losa se sacó un día antes de la prueba para proceder a adherir los Dólis.

Existen varias formas de falla por adherencia Pull-Off, como se muestra en la figura 42, falla deseada es la de falla por cohesión en el adhesivo para tener el dato certero de lo que resiste el adhesivo por tensión y que genera una buena adherencia entre el sustrato de concreto y la loseta cerámica.

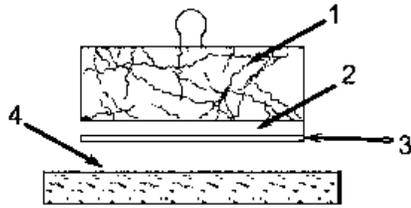


Figura A
Falla de adherencia entre adhesivo y sustrato
(FA-S)

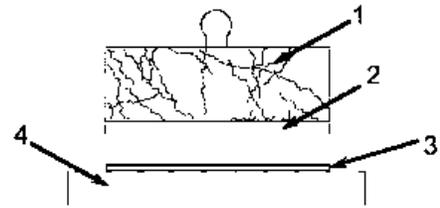


Figura B
Falla de adherencia entre recubrimiento cerámico
(FA-RA)

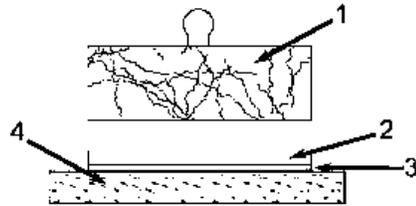


Figura C
Falla de adherencia en el cabezal
(FA-C)

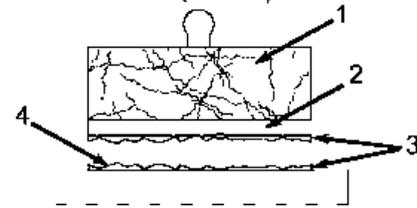


Figura D
Falla de cohesión en el adhesivo
(FA-CA)

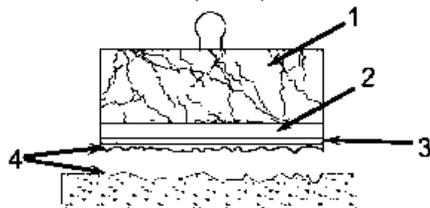


Figura E
Falla de adherencia en el sustrato
(FA-CS)

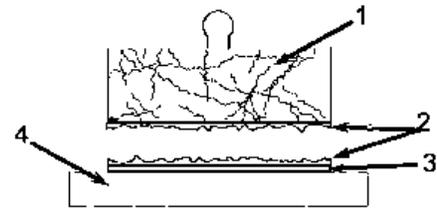


Figura F
Falla de adherencia en el recubrimiento cerámico
(FA-CR)

Simbología:

- 1 Cabezal de arranque.
- 2 Recubrimiento cerámico.
- 3 Adhesivo.
- 4 Sustrato o placa de concreto.

Figura 42. Tipos de fallas de adherencia en cerámicos adheridos con mortero. (NMX-C-420-1-ONNCCE, 2017)

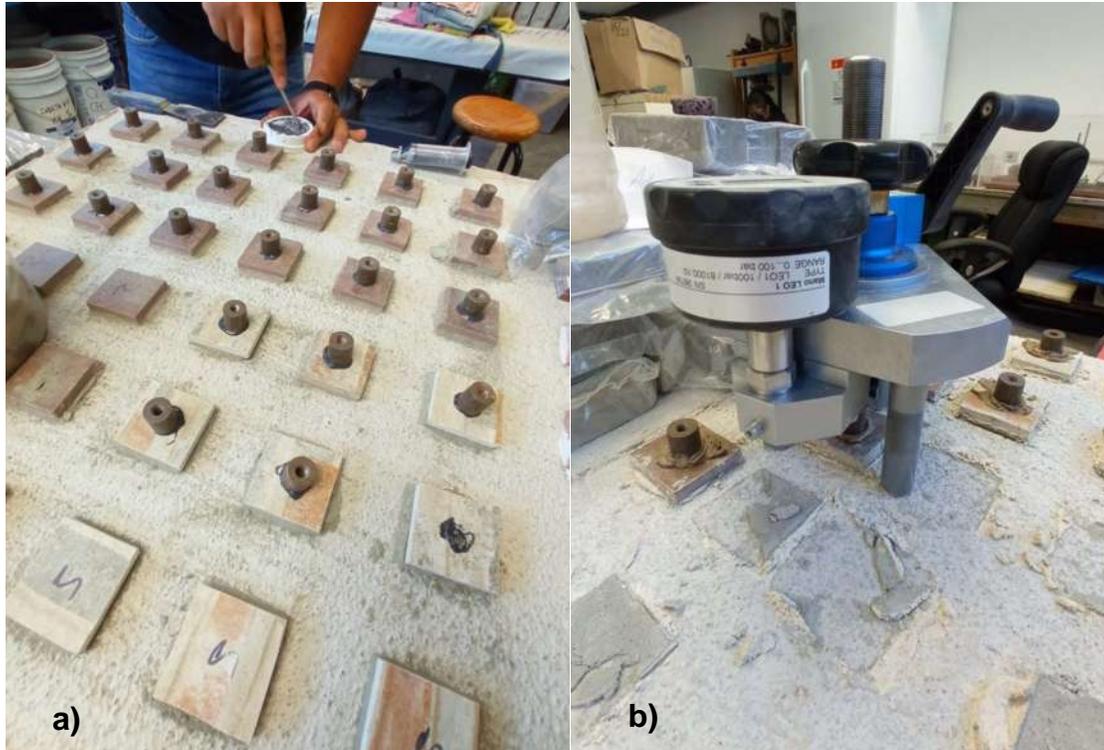


Figura 43. a) Instalación de Dólis con resina epóxica para prueba de adherencia y b) Equipo pull-off instalado en los Dólis para hacer prueba de adherencia. (C. A. Díaz Ávila)

4. Resultados y discusiones

4.1. Agua

El agua del Laboratorio de Materiales utilizada en esta investigación fue analizada conforme la norma NMX-C-122-ONNCCE-2004, la cual establece los límites máximos de la calidad del agua para elaboración de concretos y morteros hidráulicos. La fecha de los estudios del agua es 18 de mayo de 2021.

4.1.1. Especificaciones

Resultados de laboratorio (Tabla 11).



Tabla 11. Estudios del agua elaborados por el Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la UMSNH.

| PARÁMETRO / UNIDADES | RESULTADO | LÍMITE MÁXIMO NMX-C-122-ONNCCE-2004 | | MÉTODO DE PRUEBA |
|---|-----------|-------------------------------------|--------|----------------------|
| | | | | |
| Sólidos en suspensión (SST mg/l) | 1.0 | 2000 | Cumple | NMX-AA-034-SCFI-2001 |
| Sólidos totales (ST mg/l) | 436.0 | - | - | NMX-AA-034-SCFI-2001 |
| Total, de impurezas en | 435.0 | 3500 | Cumple | NMX-AA-034-SCFI-2001 |
| Cloruros Cl-(mg/l) | 14.90 | 400 | Cumple | NMX-AA-073-SCFI-2001 |
| Sulfatos como SO ₄ (mg/l) | 10.0 | 3000 | Cumple | NMX-AA-074-1981 |
| Dureza Magnésica (mg/l) | 38.25 | 100 | Cumple | NMX-AA-072-SCFI-2001 |
| Dureza Cálcica (mg/l) | 27.0 | - | - | NMX-AA-072-SCFI-2001 |
| Dureza Total (mg/l CaCO ₃) | 65.25 | - | - | NMX-AA-072-SCFI-2001 |
| Carbonatos CO ₃ (mg/l) | 1.34 | 600 | Cumple | NMX-AA-036-SCFI-2001 |
| Alcalinidad Total (mg/l CaCO ₃) | 270.0 | 300 | Cumple | NMX-AA-036-SCFI-2001 |
| Alcalinidad a la Fenolftaleína (mg/l) | 0.67 | - | - | NMX-AA-036-SCFI-2001 |
| Hidróxidos OH (mg/l) | 0.0 | - | - | NMX-AA-036-SCFI-2001 |
| Bicarbonatos HCO ₃ (mg/l) | 268.66 | - | - | NMX-AA-036-SCFI-2001 |
| Grasas o aceites (mg/l) | 0.0 | 0 | Cumple | NMX-AA-005-SCFI-2000 |
| Materia orgánica como | 0.0 | 150 | Cumple | NMX-AA-030-SCFI-2001 |
| Potencial de Hidrógeno (pH) | 6.5 | >6 | Cumple | NMX-AA-008-SCFI-2000 |
| Conductividad eléctrica | 442.0 | - | - | Electrométrico |
| Oxígeno disuelto (mg O ₂ /l) | 3.75 | - | - | Electrométrico |
| Salinidad (%) | 0.2 | - | - | Electrométrico |
| Cloro Total (mg/l) | 0.0 | | | Comparación |
| Cloro Libre (mg/l) | 0.0 | - | - | Comparación |
| Temperatura de análisis | 21.0 | - | - | NMX-AA-007-SCFI-2000 |

4.2. Caracterización de los materiales

4.2.1. Cemento portland

4.2.1.1. Densidad



El valor de la densidad para el cemento CPC 30R RS y CPC 40 RS empleados en esta investigación se mantienen en lo establecido de la norma NMX-C-152-ONNCCE-2015.

Tabla 12. Densidad del cemento usado en la investigación (C. A. Díaz Ávila)

| Cemento | Densidad (g/cm ³) | (Límites de aceptación) NMX-C-152-ONNCCE-2015. |
|------------|-------------------------------|---|
| CPC 30R RS | 3.08 | 2.9 – 3.15 |
| CPC 40 RS | 3.10 | 2.9 – 3.15 |

4.2.1.2. Consistencia

Las mezclas de mortero propuestas como uso estructural tienen valores de consistencia normal muy similares, pero se destaca que el uso del mucílago anhidro presenta una menor cantidad de líquido de amasado que al usarlo en estado líquido, y que son los valores más similares en comparación con el testigo. De resultar factible el uso de mucílago anhidro esto será de gran ventaja por tener una menor relación agua cemento para obtener una consistencia normal adecuada.

Tabla 13. Consistencia normal en mezclas de uso estructural (C. A. Díaz Ávila)

| Mezcla | Consistencia normal (%) | Consistencia normal (%) |
|---------|-------------------------|--|
| TESTIGO | 30.5 | ¹ Valores frecuentes 23-33 |
| MN 1:3 | 34.3 | |
| MN 1:4 | 33.0 | |
| MNP 1:3 | 29.5 | |
| MNP 1:4 | 30.0 | |

1. (Leon, 2017)

4.2.1.3. Tiempos de fraguado

En las mezclas elaboradas con mucílago de nopal líquido se observa un considerable aumento en ambos tiempos de fraguado (inicial y final) en comparación del testigo, quedando dentro de lo establecido en la norma (NMX-C-



177-ONNCCE, 1997), y en el caso del uso de mucílago anhidro se presentan valores muy similares a el testigo, esto concuerda con los datos que se tienen de descimbrado, es decir para las mezclas con mucílago líquido, que retardan el fraguado del mortero no fue factible el desmolde de estos cuando ya se podían desmoldar los testigos, sin embargo con el uso del mucílago anhidro se podían desmoldar al mismo tiempo que los especímenes testigo.

Tabla 14. Tiempo de fraguado en mezclas de uso estructural. (C. A. Díaz Ávila)

| Mezcla | NMX-C-117-ONNCCE-1997 | | Resultados | |
|---------|-----------------------|------------------------|---------------|-------------|
| | Inicial | Final | Inicial (min) | Final (min) |
| MN 1:3 | 90 minutos mínimo | 1080 minutos máximo | 210 | 1035 |
| MN 1:4 | | | 180 | 930 |
| MNP 1:3 | | | 150 | 390 |
| MNP 1:4 | | | 150 | 405 |
| TESTIGO | | | 150 | 390 |

4.2.2. Arena

La caracterización de las arenas utilizadas en esta investigación, las cuales son arena blanca, marmolina y arena de sílice, fue hecha en las muestras representativas obtenidas mediante cuarteador de arenas. En tabla 15 se muestran los resultados de las pruebas realizadas a las arenas utilizadas en la investigación.

Tabla 15. Caracterización del agregado pétreo. (C. A. Díaz Ávila)

| Material /Prueba | Absorción % | MVSS g/cm ³ | MVSV g/cm ³ | Densidad g/cm ³ |
|------------------|-------------|------------------------|------------------------|----------------------------|
| Arena blanca | 7.50 | 1.24 | 1.36 | 2.10 |
| Marmolina | 1.37 | 1.50 | 1.76 | 2.78 |
| Arena de sílice | 1.08 | 1.23 | 1.39 | 2.50 |



4.2.2.1. Análisis granulométrico

La granulometría para las arenas empleadas en la investigación no cumple con lo recomendado por sus respectivas normas; sin embargo, sólo es una recomendación de la norma. Sólo en el caso de morteros estructurales se cribó la marmolina hasta obtener las cantidades necesarias para cumplir con la recomendación de la granulometría; mientras que para los morteros no estructurales y adhesivos se usaron tal cual se adquirieron quedando las siguientes granulometrías.

Para morteros propuestos como uso estructural:

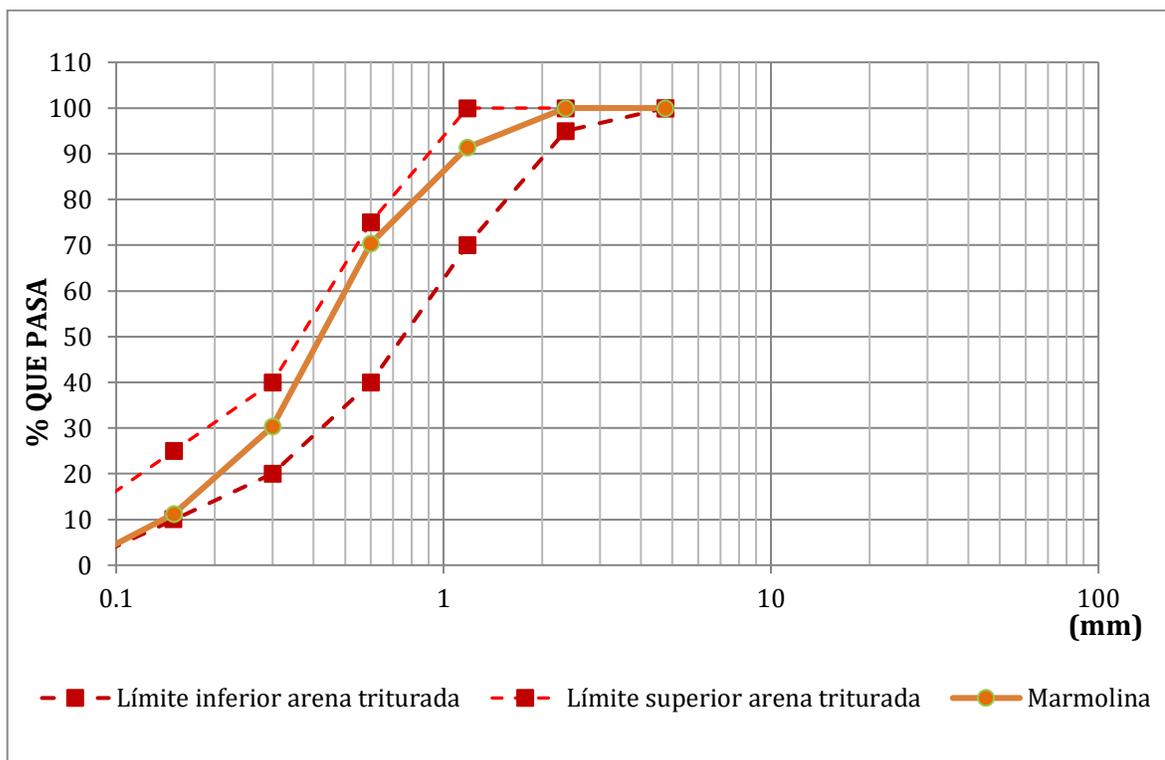


Figura 44. Análisis granulométrico de la marmolina empleada en morteros adicionados con mucílago de nopal (Uso estructural). (C. A. Díaz Ávila)



Para morteros propuestos como uso no estructural y adhesivo:

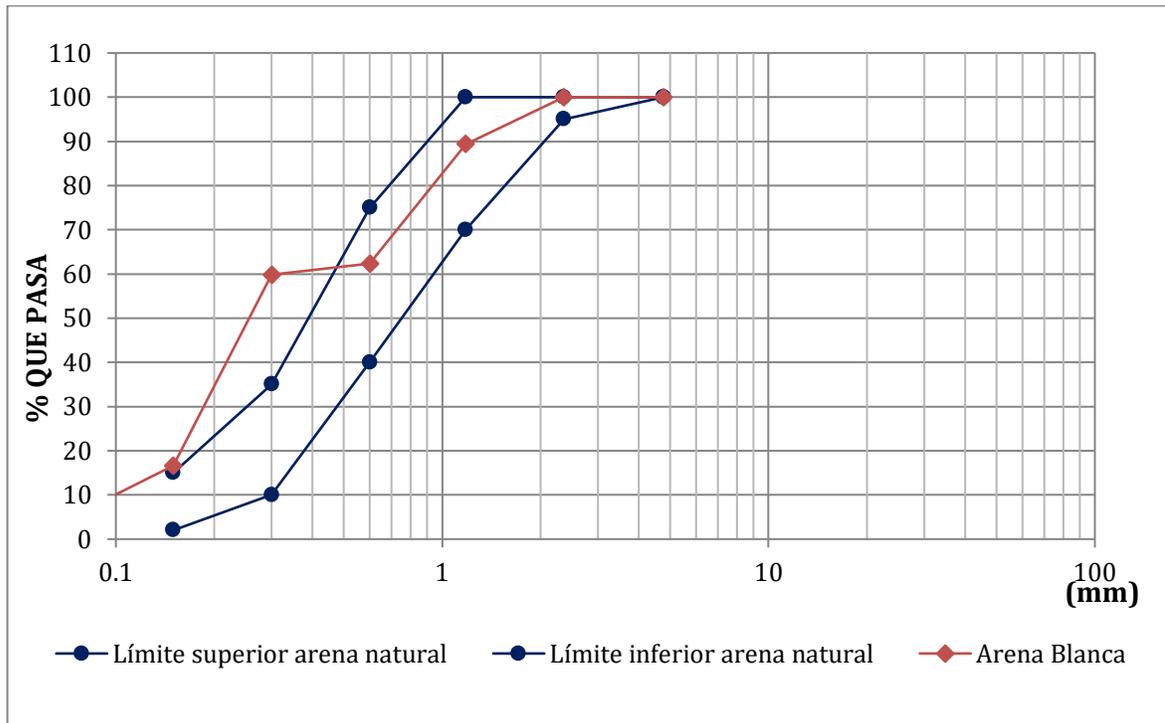


Figura 45. Análisis granulométrico de la arena blanca. (C. A. Díaz Ávila)

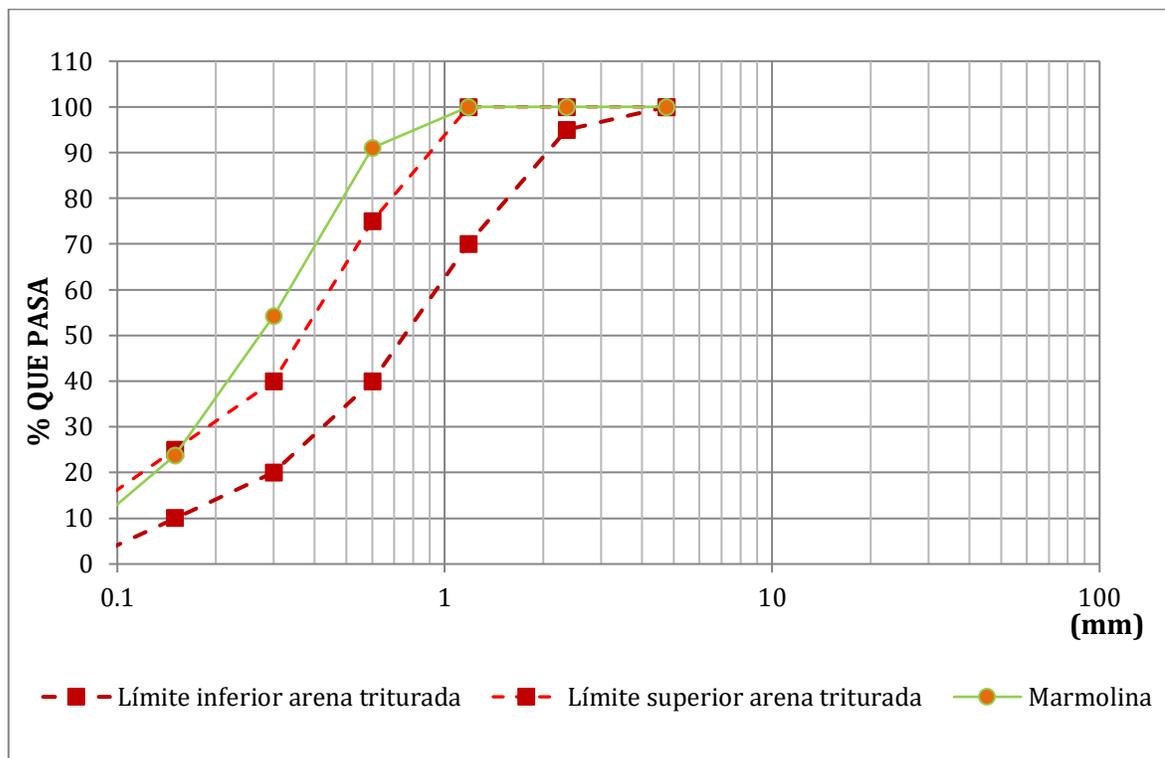


Figura 46. Análisis granulométrico de la marmolina. (C. A. Díaz Ávila)

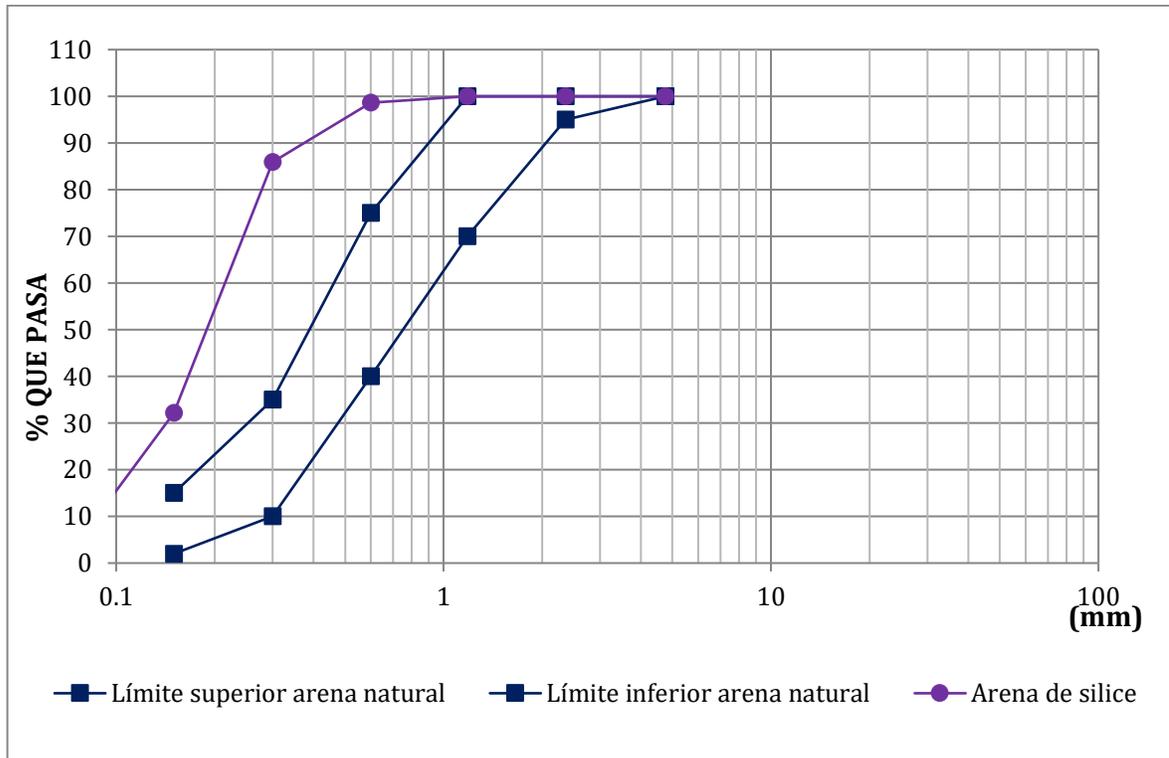


Figura 47. Análisis granulométrico de la arena de sílice. (C. A. Díaz Ávila)

4.3. Pruebas al mortero fresco

4.3.1. Fluidez

En las siguientes tablas se muestran los resultados de la prueba de fluidez destacando de color verde las mezclas que cumplen con lo establecido en la norma NMX-C-161-ONNCCE-2015, y con rojo las que se salen de lo establecido. Así mismo se observa un valor importante que es la relación agua cemento, este valor es el mismo para los morteros de uso estructural ya que se pretende comparar los valores entre sí, y para morteros no estructurales y adhesivo varía este valor ya que tienen diferentes porcentajes de aditivos que afectan en la fluidez y demandan



menor o mayor agua, y se pretende analizar si alguna de las mezclas de estos dos morteros con adiciones cumple con su respectiva norma.

Para morteros propuestos de uso estructural:

Tabla 16. *Fluidez en morteros estructurales adicionados con mucílago de nopal.* (C. A. Díaz Ávila)

| Mezcla | Relación A/C | Fluidez % |
|---------|--------------|-----------|
| MN 1:3 | 0.645 | 102 |
| MN 1:4 | 0.645 | 105 |
| MNP 1:3 | 0.645 | 109 |
| MNP 1:4 | 0.645 | 110 |
| TESTIGO | 0.645 | 110 |

Para morteros propuestos de uso no estructural:

Tabla 17. *Fluidez en morteros no estructurales.* (C. A. Díaz Ávila)

| Mezcla | Relación A/C | Fluidez % |
|----------------|--------------|-----------|
| 1-Arena Blanca | 0.726 | 105 |
| 2-Arena Blanca | 0.842 | 115 |
| 3-Arena Blanca | 0.534 | 105 |
| 1-Marmolina | 0.760 | 115 |
| 2-Marmolina | 0.534 | 108 |
| 3-Marmolina | 0.772 | 110 |

Para morteros propuestos como adhesivos:

Tabla 18. *Fluidez en morteros no adhesivos.* (C. A. Díaz Ávila)

| Mezcla | Relación A/C | Fluidez % |
|-------------|--------------|-----------|
| A-Blanca | 0.625 | 108 |
| A-Marmolina | 0.550 | 120 |
| B-Blanca | 0.570 | 120 |
| B-Marmolina | 0.563 | 117 |
| B-Sílice | 0.538 | 122 |
| C-Marmolina | 0.550 | 119 |
| C-Sílice | 0.588 | 114 |



4.3.2. Ph y Temperatura

Para todas las mezclas de mortero trabajadas en esta investigación se obtuvieron mezclas alcalinas y fueron elaboradas en un rango de temperaturas similar a la temperatura ambiente de las fechas que se elaboraron, sin tener gran variación entre ellas mismas como se muestra en la tabla 19, lo cual es bueno para tener una mejor comparación de las mezclas entre sí.

Tabla 19. pH y temperatura en las mezclas de mortero en estado fresco. (C. A. Díaz Ávila)

| Tipo de mortero | Mezcla | pH | Temperatura |
|---------------------------|----------------|----|-------------|
| Morteros estructurales | MN 1:3 | 12 | 22.2 |
| | MN 1:4 | 12 | 23.4 |
| | MNP 1:3 | 13 | 22.5 |
| | MNP 1:4 | 13 | 22.5 |
| | TESTIGO | 13 | 21.1 |
| Morteros no estructurales | 1-Arena Blanca | 13 | 21.4 |
| | 2-Arena Blanca | 13 | 22.6 |
| | 3-Arena Blanca | 13 | 20.9 |
| | 1-Marmolina | 13 | 22.1 |
| | 2-Marmolina | 13 | 21.1 |
| | 3-Marmolina | 13 | 21.2 |
| Morteros adhesivos | A-Blanca | 13 | 22.5 |
| | A-Marmolina | 13 | 21.1 |
| | B-Blanca | 13 | 22.0 |
| | B-Marmolina | 13 | 21.1 |
| | B-Sílice | 13 | 21.8 |
| | C-Marmolina | 13 | 21.6 |
| | C-Sílice | 13 | 20.9 |

4.3.3. Tiempo abierto y deslizamiento

La prueba de tiempo abierto y deslizamiento sólo es aplicada en mezclas adhesivas conforme la norma NMX-C-420-1-ONNCCE-2017. Ninguna de las



mezclas cumple con el mínimo de tiempo abierto establecido en la norma, siendo la mezcla A con arena blanca y la mezcla A con marmolina las más cercanas al valor mínimo de la norma.

En el caso de deslizamiento se podría decir que la norma no define un valor para los adhesivos a menos que se especifique que son de bajo deslizamiento, aun así, si se llegaran a usar en una aplicación en la que se requiera bajo deslizamiento como en una pared, según la norma éste debe ser igual o menor que 0.5 mm, y sólo la mezcla **B-Sílice** cumple con este parámetro.

Tabla 20. Tiempo abierto y deslizamiento en mezclas adhesivas. (C. A. Díaz Ávila)

| Mezcla | Tiempo abierto (minutos) | Deslizamiento (mm) |
|-------------|--------------------------|--------------------|
| A-Blanca | 8 | 1.4 |
| A-Marmolina | 8 | 1.3 |
| B-Blanca | 6 | 1.7 |
| B-Marmolina | 2 | 1.9 |
| B-Sílice | 4 | 0.4 |
| C-Marmolina | 2 | 2.6 |
| C-Sílice | 6 | 0.9 |

Aunque este parámetro solo es para adhesivos que especifiquen que son de bajo deslizamiento, si se requiere en instalaciones de cerámica en superficies verticales es conveniente tener adhesivos de bajo desplazamiento por lo que se recomienda usar la mezcla que cumplió con la normativa o bien para futuras investigaciones se recomienda aumentar el espesante en porcentajes mayores y reducir la relación agua cemento, con esto está la posibilidad de disminuir el desplazamiento en estas mezclas adhesivas.



4.4. Pruebas al mortero endurecido

4.4.1. Pruebas no destructivas

4.4.1.1. Resistividad eléctrica

La prueba de resistividad eléctrica se tuvo contemplada principalmente en morteros propuestos de uso estructural, para analizar la resistencia al flujo eléctrico utilizando mucílago de nopal como adición. Dando como resultado un buen comportamiento en las mezclas adicionadas con el mucilago, destacando la mezcla **MN 1:4**, que para ambas edades estudiadas se obtuvieron los resultados más altos, seguido de la mezcla **MN 1:3**.

Se destaca que el uso del mucilago de manera líquida tiene mejor comportamiento para esta prueba, sin embargo, se observa que a la edad de 28 días la mezcla MNP 1:4 tiene un incremento considerable.

El tener valores más altos conforme incrementa la edad del espécimen nos garantiza una protección de ciertas estructuras que contengan acero y estén coladas o recubiertas con un mortero de este tipo.

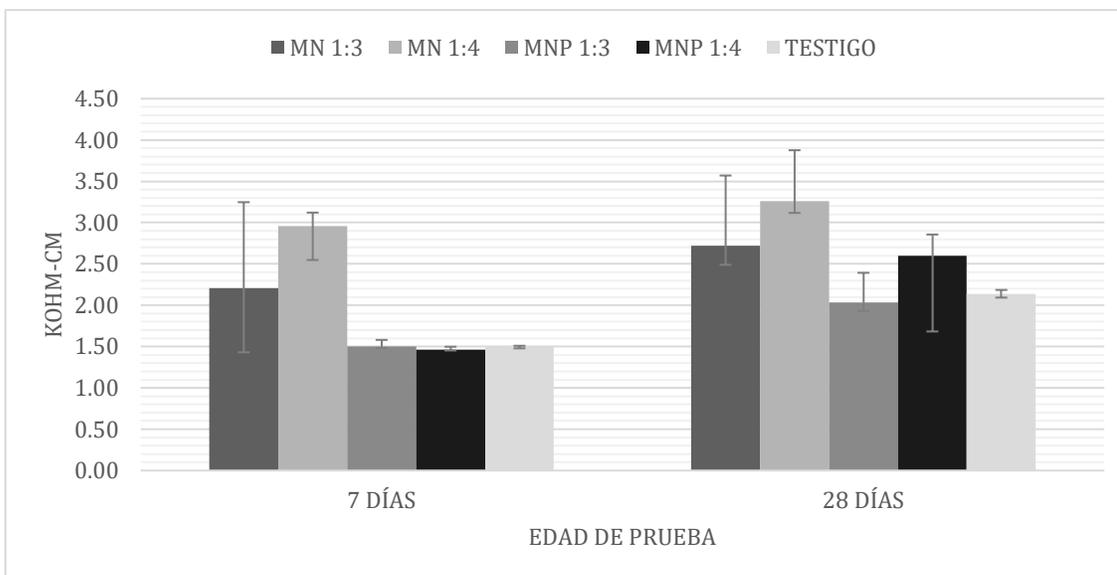


Figura 48. Resistividad eléctrica en cubos (C. A. Díaz Ávila)

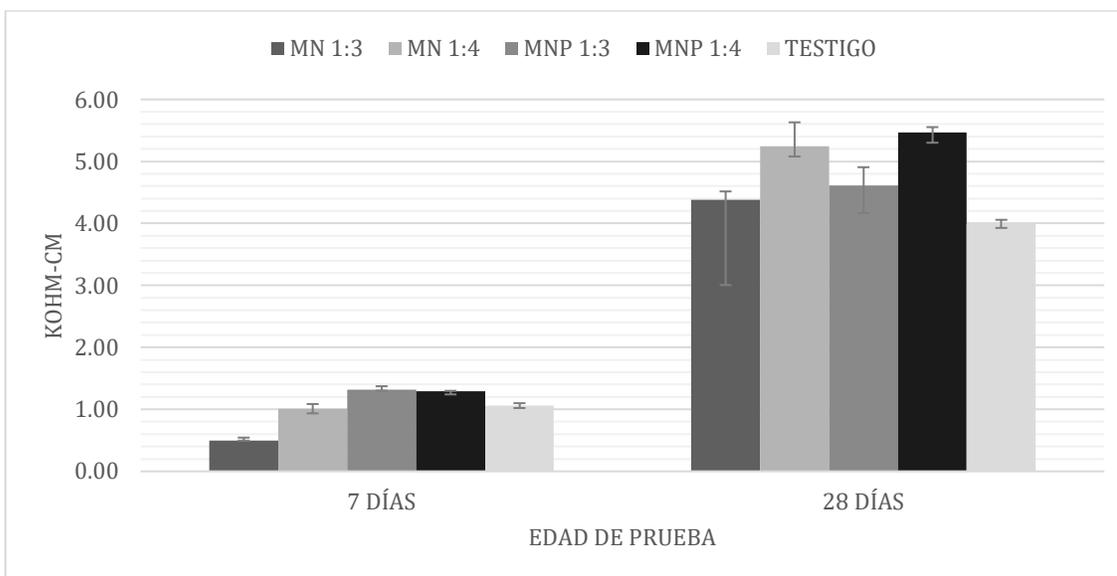


Figura 49. Resistividad eléctrica en cilindros (C. A. Díaz Ávila)

Se recomienda seguir con la investigación a edades tardías para observar y analizar cómo van creciendo o decreciendo los valores de resistividad eléctrica con las adiciones de mucílago de nopal, pues se aparentan buenos resultados, esta prueba se podría decir que entra en cuestiones de durabilidad, por lo que en futuras investigaciones también es recomendable añadir pruebas de durabilidad para esta adición.



4.4.1.2. Módulo de elasticidad dinámico

En el caso de la mezcla en estado endurecida más rígida en ambas edades de prueba es la mezcla **MN 1:4**, y la menos rígida es la mezcla **MNP 1:4**, observando que el módulo de elasticidad conforme pasaron los días entre las dos edades de prueba fueron creciendo en todas las mezclas siendo cada vez más rígidos, cabe mencionar que a edades superiores sería factible investigar cómo se van comportando las mezclas, este es un parámetro importante en zonas de gran sismicidad que demandan deformaciones grandes en las estructuras.

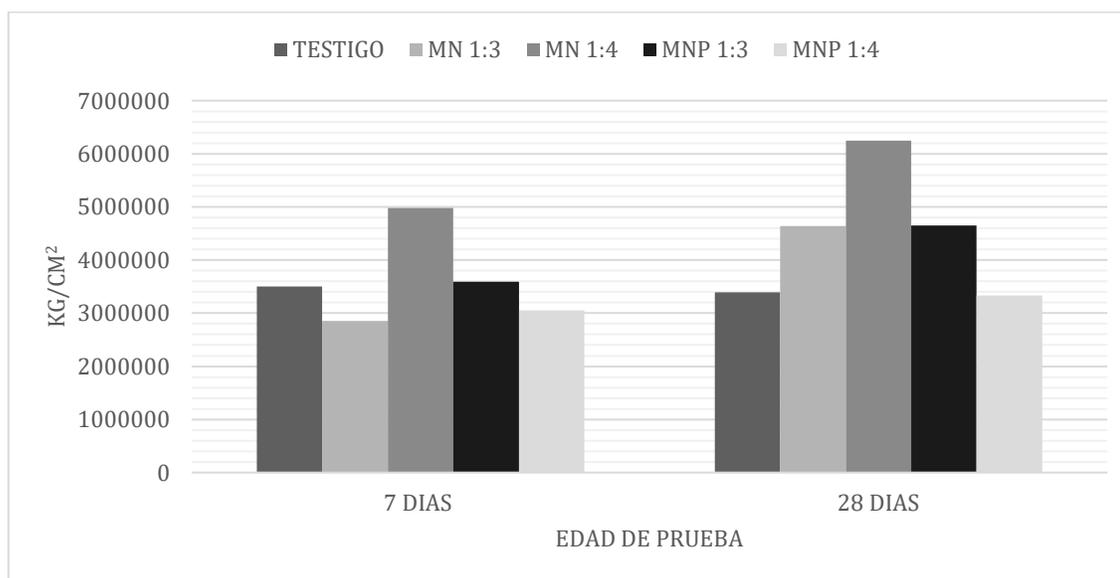


Figura 50. Módulo de elasticidad en mortero adicionado con mucílago de nopal. (C. A. Díaz Ávila)

4.4.2. Pruebas destructivas

4.4.2.1. Compresión simple

La resistencia de una mezcla de mortero o concreto es una de las pruebas más comunes y conocidas en el laboratorio y en el campo. Analizando las gráficas de los datos obtenidos se observa una gran mejora en esta propiedad en



comparación del testigo hablando de morteros adicionados con mucílago de nopal, propuestos de uso estructural.

Teniendo en cuenta que las mezclas elaboradas en esta investigación fueron a base de cemento, y que a los 28 días se tiene la mayor parte de resistencia que tendrá la mezcla, se define como las mejores mezclas entre **MN 1:4** y **MNP 1:3**.

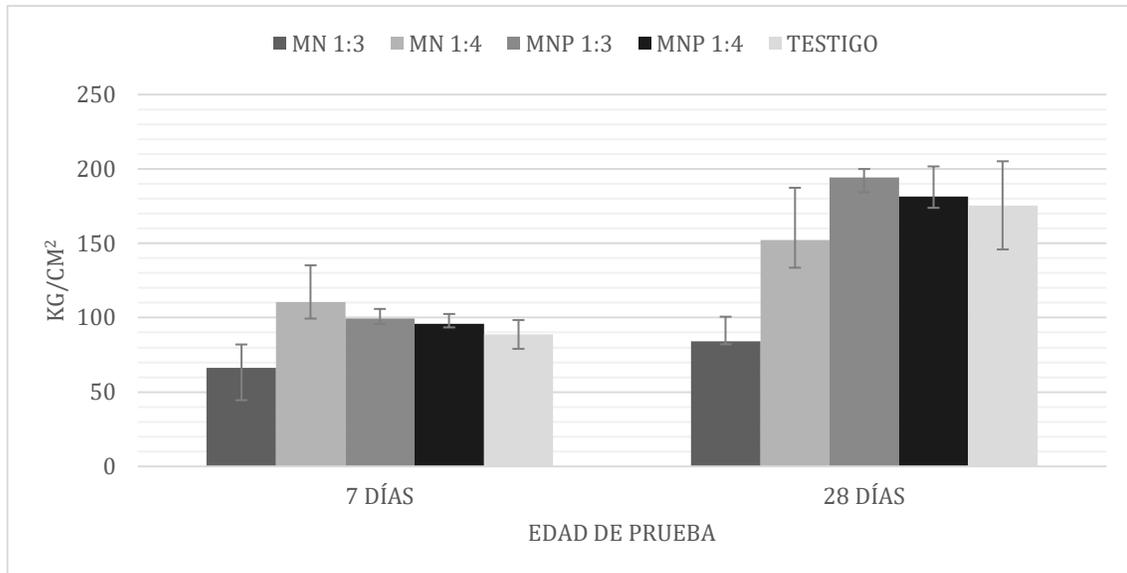


Figura 51. Resistencia a la compresión simple en cubos de mortero con mucílago de nopal. (C. A. Díaz Ávila)

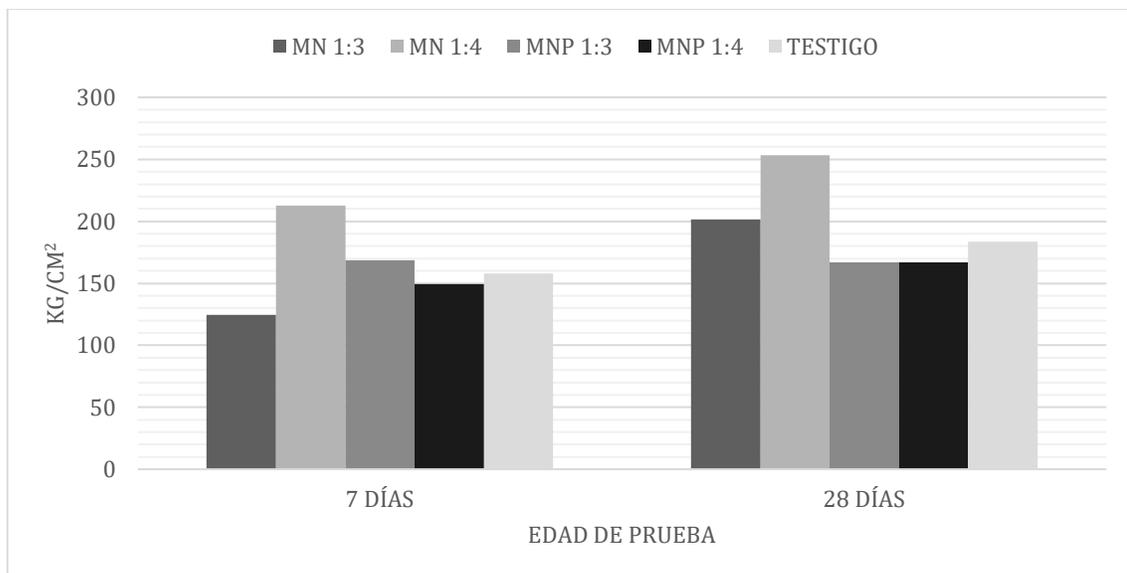


Figura 52. Resistencia a la compresión simple en cilindros de mortero con mucílago de nopal. (C. A. Díaz Ávila)



Se recomienda hacer pruebas a edades tardías para observar si existe un incremento en la resistencia de las mezclas adicionadas con mucilago, pues a nivel laboratorio se observó que los especímenes con esta adición tenían una velocidad de fraguado mucho más lenta que la de los testigos, efecto que puede ser causante de una mejor resistencia a la compresión de los morteros estructurales.

Para morteros propuestos como no estructurales, se tiene que según la norma NMX-C-529-ONNCCE-2017, ninguna mezcla llega al mínimo de resistencia promedio de 30 kg/cm², en la gráfica siguiente se observa el mínimo valor promedio una línea horizontal roja y ninguna de las mezclas llega a sobre pasar este límite. Cabe mencionar que esto puede ser causa del inductor de aire (surfactante) que se usó para estas mezclas, ya que apporto una gran cantidad de porosidad a la mezcla en tanto en estado fresco como endurecido, aunque se tuviera una muy buena trabajabilidad afecto considerablemente la resistencia de todas las mezclas propuestas como uso no estructural.

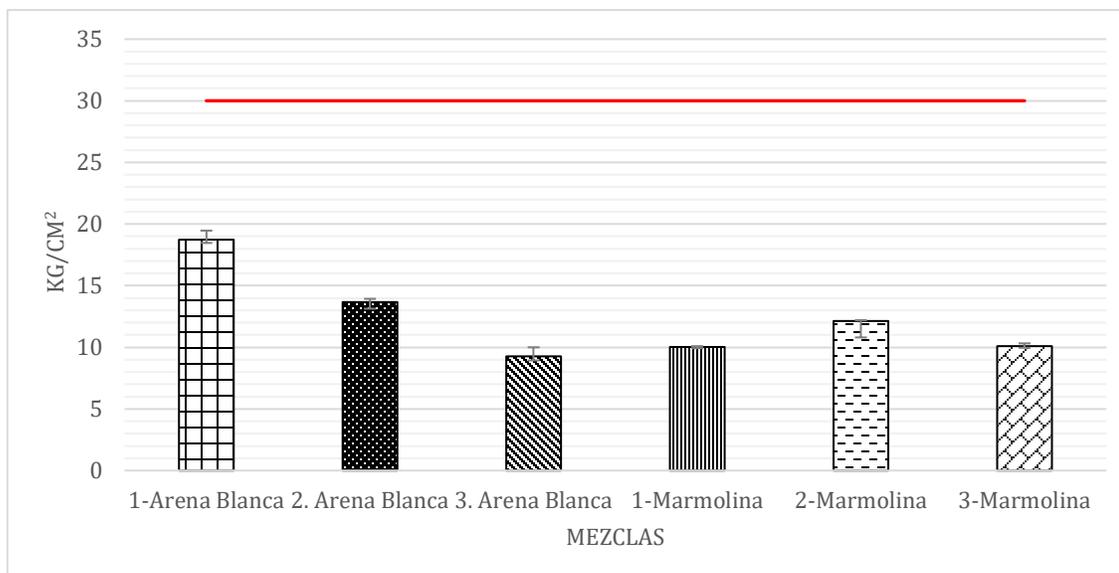


Figura 53. Resistencia a la compresión simple en cubos en morteros de uso no estructural a 28 días. (C. A. Díaz Ávila)

Se recomienda el seguir estudiando los morteros de uso no estructural, pero con menos cantidad de surfactante, ya que el uso de este añadió mucho aire a la mezcla en fresco y por ende la presencia de mucho poro en las mezclas en estado endurecido.

Respecto a la resistencia a la compresión que deben cumplir las mezclas de mortero adhesivas según la norma NMX-C-420-1-ONNCCE-2017, todas las mezclas sobrepasan el valor del tipo de adhesivo que especifica el valor mayor a compresión según la norma, es decir todas las mezclas ensayadas cumplen con lo establecido en la norma respecto a compresión simple. Teniendo estos resultados todas las mezclas pueden ser tipo A, B, C o D., según la normativa.

En la siguiente figura se observa una línea roja horizontal que es el valor que se especifica en la norma mencionada anteriormente destacando las mezclas elaboradas con arena silíceas como las mejores.

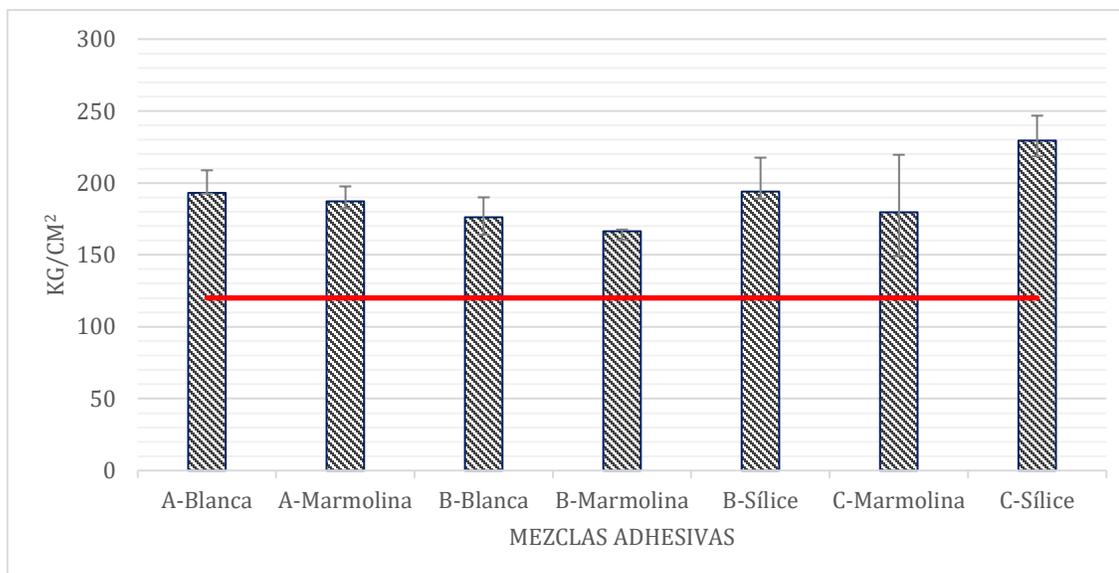


Figura 54. Resistencia a la compresión simple en cubos en morteros de uso adhesivo a 28 días. (C. A. Díaz Ávila)

Aunque en este ensaye se obtuvieron buenos resultados se recomienda seguir con la investigación ya que no en todas las mezclas se cumple con lo establecido en otros ensayes en la norma respectiva, por lo que podría variar los resultados al intentar cambiar porcentajes de las adiciones para el hacer posible el cumplir con los parámetros de la normativa.

4.4.2.2. Flexión

La prueba de flexión o módulo de ruptura se realizó solo en morteros de uso estructural con adición de mucilago de nopal, de lo cual se observa que a una edad de 7 días el testigo es una de las mezclas que está por encima de la mayoría de estas, y en los 28 días se queda los valores empiezan a ser más similares entre todas las mezclas, sin embargo, el uso de esta adición (mucílago de nopal) sigue dando mejores resultados en una de sus mezclas en ambas edades de prueba siendo la mezcla **MN 1:4**.

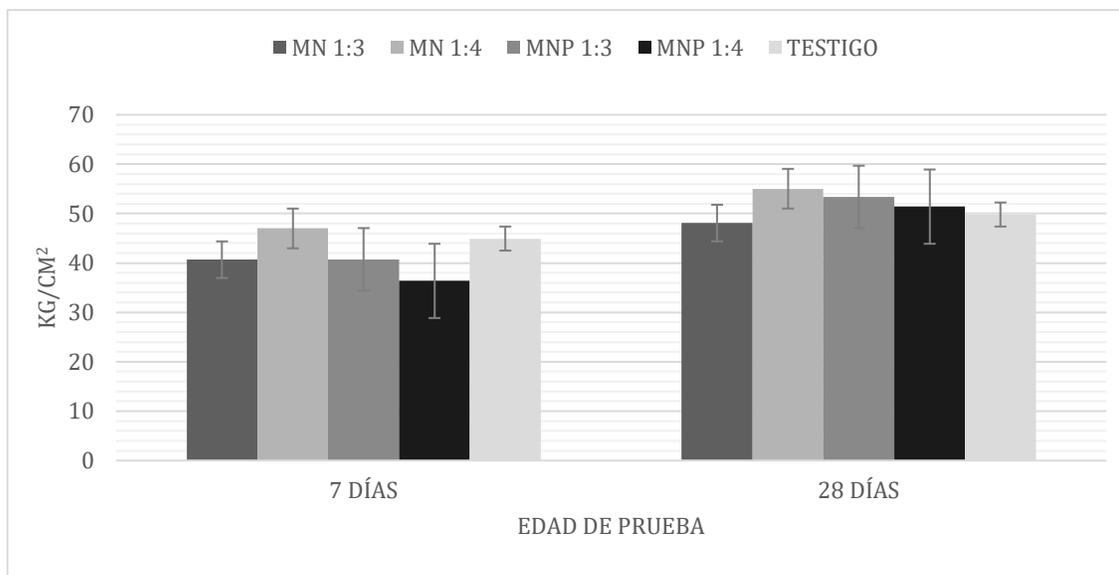


Figura 55. Resistencia a la flexión en morteros con mucílago de nopal. (C. A. Díaz Ávila)

Se recomienda seguir con este ensaye a edades tardías, para poder identificar de una manera más precisa la mejor mezcla en este ensaye.

4.4.2.3. Tensión directa

La tensión directa es una prueba que se realizó en todas las mezclas elaboradas en esta investigación, el caso de morteros de uso estructural con adición de mucílago de nopal se observa que a la edad de 7 días se tiene ligeramente una resistencia superior que el testigo a excepción de la mezcla NM 1:4, y para los 28 días tampoco se tiene gran diferencia con el testigo, sin embargo, sigue siendo superior una de las mezclas en con mucílago que la testigo que es la mezcla **MNP 1:4**.

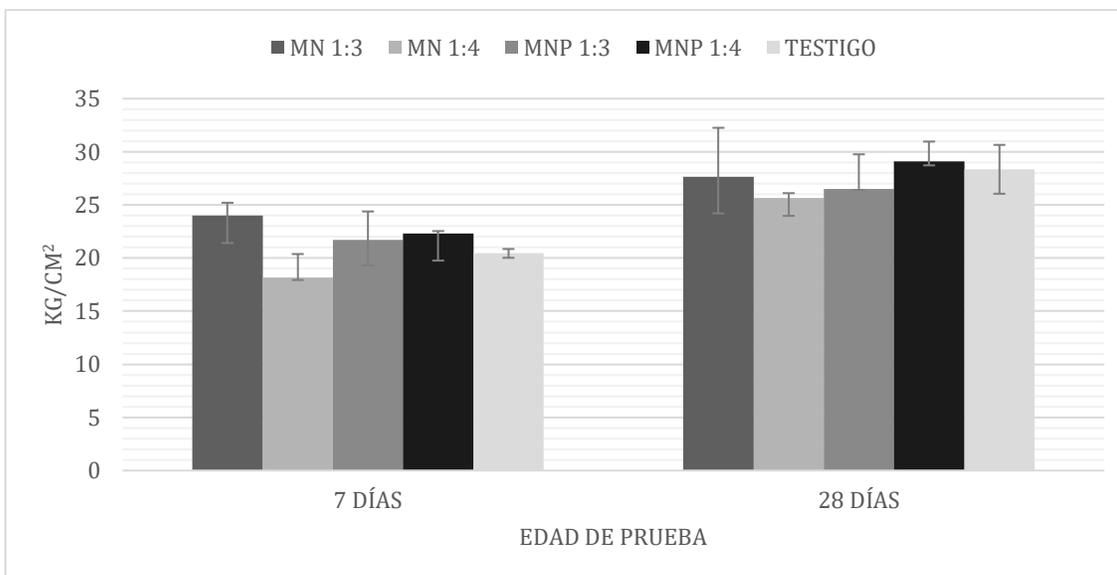


Figura 56. Resistencia a la tensión directa en briquetas de mortero con mucílago de nopal. (C. A. Díaz Ávila)

Se recomienda seguir con este ensaye en mezclas de mortero de uso estructural a edades tardías, para poder identificar de una manera más precisa la mejor mezcla en este ensaye.

En morteros de uso no estructural se tienen resultados muy bajos para todas las mezclas, esto se estima que es debido al inductor de aire que se utilizó, que para todas las pruebas mecánicas que se les aplicaron a estas mezclas fueron afectadas muy considerablemente, cabe mencionar que no se considera ninguna de las mezclas como la mejor en esta prueba, pues su falla fue muy incierta por todo el proceso que incluye realizar este ensaye.

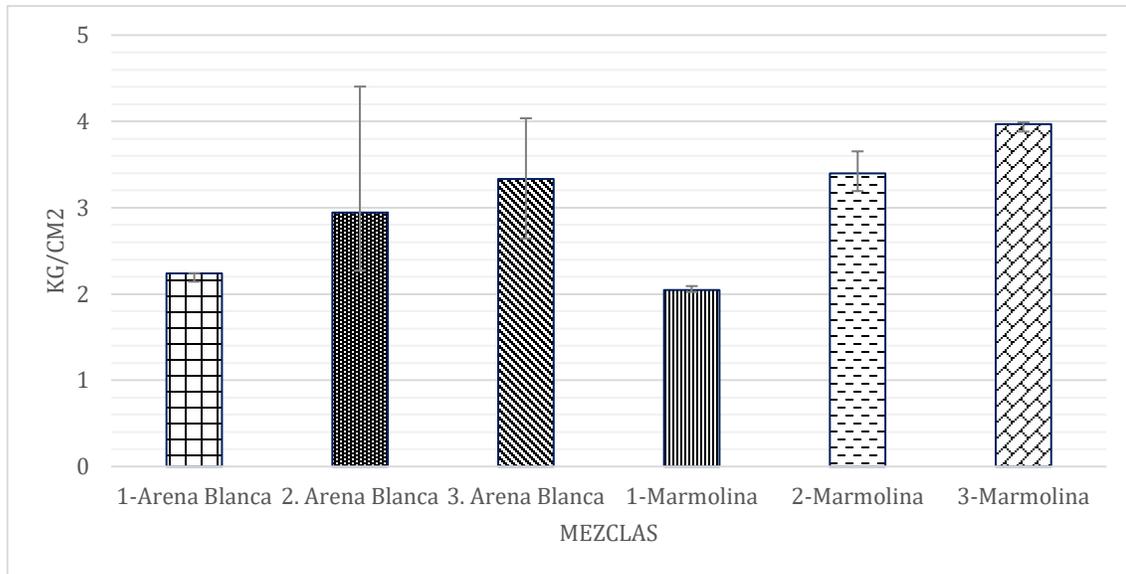


Figura 57. Resistencia a la tensión directa en briquetas de mortero de uso no estructural a 28 días. (C. A. Díaz Ávila)

Se recomienda bajar las adiciones del surfactante para evitar tanta porosidad en las mezclas y tener valores de resistencias mecánicas más altos, y poder catalogar un mortero como uso no estructural según su normativa correspondiente.

En las mezclas adhesivas se destacan las elaboradas con arena blanca y arena silíceas a pesar de contener diferentes porcentajes de adiciones tiene una buena resistencia en especial la mezcla **A-Blanca** y la mezcla de **C-Sílice** a pesar de que no es la que nos da la mayor resistencia es una de las mezclas que tiene menor cantidad de adiciones en porcentaje y aun así es la que queda en segundo lugar en resistencia a tensión directa.

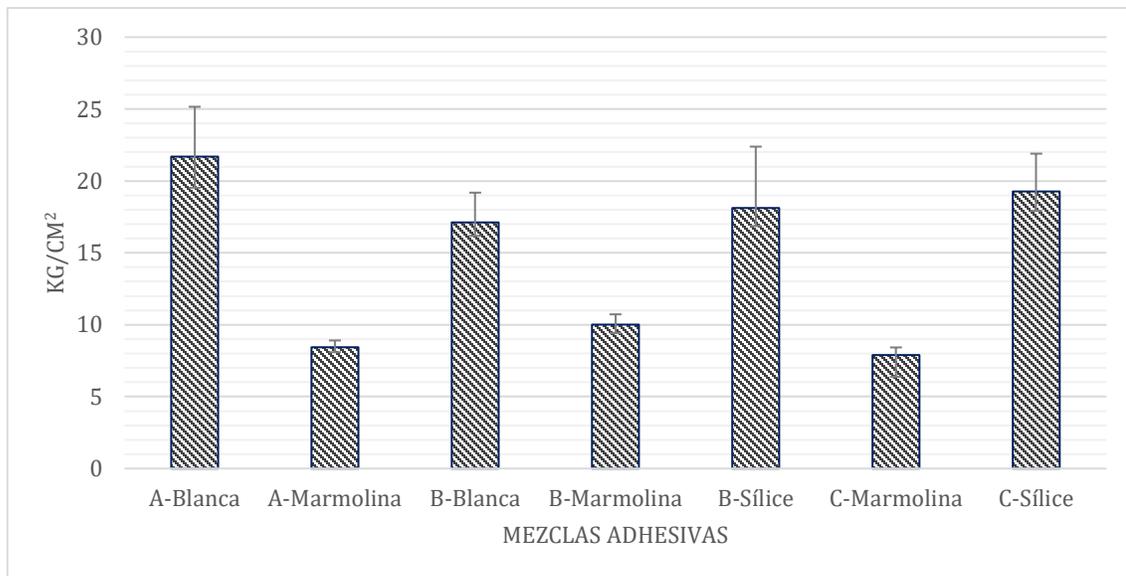


Figura 58. Resistencia a la tensión directa en briquetas de morteros adhesivos a 28 días.
(C. A. Díaz Ávila)

En caso de investigaciones futuras de este tipo de morteros se recomienda no descartar esta prueba y evaluarla junto con adherencia ya que puede ser una manera de comparación de los resultados para un mejor análisis de si los datos que obtenemos son confiables, es decir tiene mucha coherencia con los resultados obtenidos en adherencia.

4.4.2.4. Adherencia

La adherencia es una de las propiedades más importantes o características de un morteros en especial en mezclas adhesivas, en esta prueba tenemos diferentes maneras de evaluar esta propiedad, para morteros propuestos como uso estructural con adición de mucílago de nopal y morteros no estructurales se tiene la prueba de adherencia rápida es decir, con una cuchara de albañilería se probó que la mezcla quedara adherida al impactarla en una superficie de concreto, para lo cual se destacaron las mezclas adicionadas con mucílago de nopal en comparación de



las testigo, en especial las mezclas MN 1:3 y MN 1:4, teniendo una buena correa y trabajabilidad.

Para morteros no estructurales se destaca la excelente trabajabilidad y correa que se tiene en las mezclas lo que facilita el manipularla para realizar el ensaye de adherencia rápida, cabe mencionar que a pesar de que todas las mezclas quedaban adheridas al repellar la superficie de concreto, al momento de secar las mezclas elaboradas con arena blanca se disgregan fácilmente con solo rascarlas levemente con la mano, lo que no sucedió con el uso de marmolina.

Para morteros de uso estructural y no estructural, se recomienda añadir la prueba de adherencia tipo pull-off, ya sea en una placa de concreto o bien en un muro de tabique.

Para morteros de mezclas adhesivas tenemos que evaluar la adherencia entre una placa de concreto, la mezcla de mortero y una pieza de cerámica que puede ser de alta, media o baja absorción, dependiendo el tipo de adhesivo que se proponga, esta prueba se hizo por duplicado sumergiendo en agua la placa de concreto donde se adhirieron las piezas cerámicas con el mortero adhesivo. En el caso de las mezclas elaboradas con arena silíceo (**B-Sílice** y **C-Sílice**), son las más destacadas por tener la mayor adherencia cumpliendo con la norma NMX-C-420-1-ONNCCE-2017, en el ensaye de adherencia en condiciones estándar y de inmersión en agua. Con posibilidad de catalogarse como un adhesivo tipo A, B C o D según la norma mencionada.

Las mezclas **A-Marmolina** entra en los parámetros de la norma como adhesivo A, B o C, la mezcla **A-Blanca** puede ser catalogada como adhesivo tipo A o B. El resto



de mezclas no entran en ninguna categoría por las resistencias obtenida de adherencia.

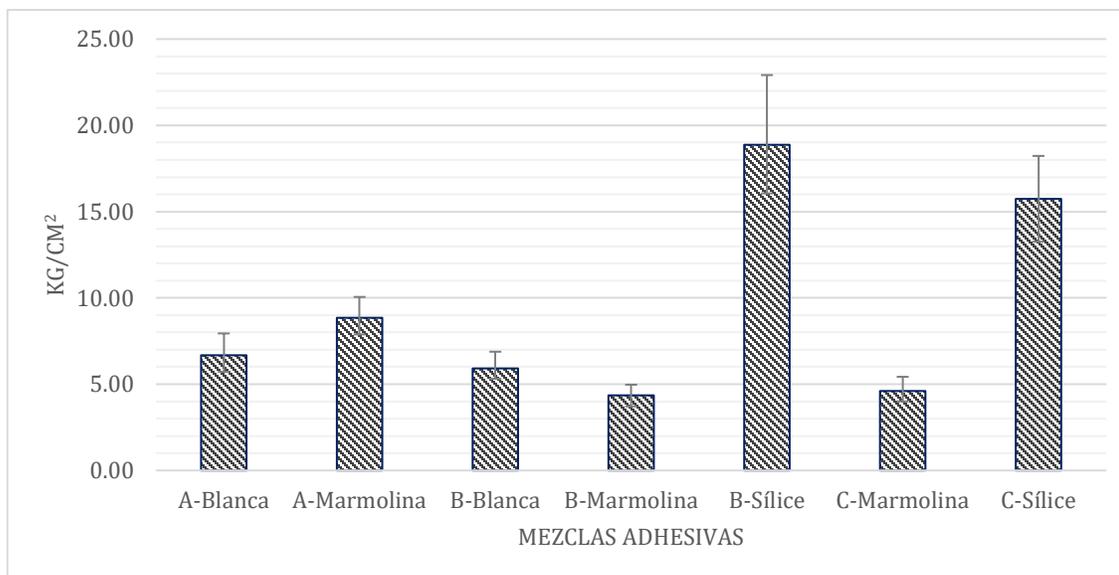


Figura 59. Prueba de adherencia tipo pull-off en condiciones estándar en morteros de mezclas adhesivas a 28 días. (C. A. Díaz Ávila)

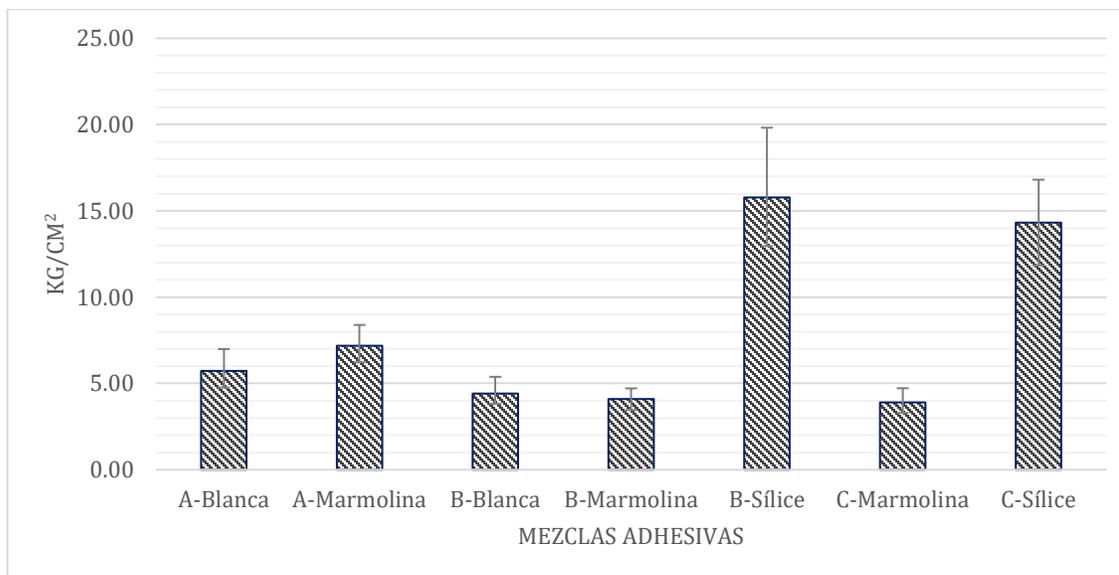


Figura 60. Prueba de adherencia tipo pull-off en morteros de mezclas adhesivas, en inmersión de agua a 28 días. (C. A. Díaz Ávila)

Se recomienda aumentar el porcentaje de adición de espesante ya que es una de las adiciones más importantes en estos tipos de mortero y es una de las adiciones que se debe aumentar en su proporción para el posible cumplimiento de



los parámetros que no se cumplieron en ensayos pasados a este, uno de ellos el tiempo abierto, pues la mayoría de las mezclas adheridas en la placa de concreto fallaron de una manera no deseada es decir, fallaron entre la placa de concreto y el adhesivo o fallaron entre el adhesivo y el cerámico, la falla deseada es por posesividad esto quiere decir que la mezcla se alcanzó a resecar por el bajo tiempo que se tiene de pegar de inmediato la pieza cerámica, por lo que se pudieron tener pegados en falso, aun así se tienen mezclas que cumplen con la adherencia.

5. Conclusiones

Una de las adiciones empleada en este estudio para morteros de uso estructural es el mucílago de nopal que por sus antecedentes y pruebas de esta investigación se concluye que el uso de esta adición, mejora las propiedades de los morteros a base de cemento, sin embargo, en la literatura citada no se encontró un estudio donde se analizara el uso del mucílago (sin fibra) de nopal anhidro, ese es el primer acercamiento a investigar su efecto que se tiene al usarlo de manera anhidra es inferior a usarlo de manera inmediata después de exudarlo como se menciona en esta investigación, sin embargo en la mayoría de las pruebas supera al testigo, es decir también se ven beneficiadas diferentes propiedades estudiadas en esta investigación haciendo uso de esta adición orgánica, también debemos tener en cuenta la gran ventaja de que deshidratar esta adición es conveniente para su conservación prolongada.

El usar el mucílago de nopal no afecta en pruebas normadas por la ONNCCE de los agregados, y para la normativa del cemento, si se tienen cambios en los valores como consistencia normal, tiempos de fraguado, etc., sin embargo, siguen dentro



de los parámetros correspondientes. También ayuda a tener mejores propiedades mecánicas y de acuerdo con los datos de resistividad eléctrica es factible el uso de este mortero adicionado con mucílago de nopal para proteger estructuras que estén sometidas en ambientes que promuevan la corrosión.

Destacando las mejores de las mezclas respecto a un análisis detallado en todas las pruebas realizadas en esta investigación se concluye que son la mezcla **MN 1:4** y **MNP 1:4**, y de estas la que más se destaca es la mezcla **MN 1:4**, esto para los morteros de uso estructural.

Para morteros de uso no estructural y adhesivos prácticamente, se hizo el uso de las mismas adiciones a excepción del surfactante empleado en cada tipo de mortero, según los datos de las pruebas estos dos presentan datos muy diferentes, para los morteros de uso no estructural el surfactante usado adiciono mucho aire en las mezclas en estado fresco y se vio afectado en la porosidad cuando estas fraguaron, por lo que no se tuvieron resultados buenos en ninguna de las pruebas realizadas y se descarta el uso de estos morteros, al menos con esta adición del surfactante utilizado en las mezclas de morteros no estructurales. Sin embargo, para morteros adhesivos se tuvieron resultados muy buenos para una investigación preliminar o primeriza con adiciones de este tipo, cumpliendo en varios de los parámetros de su normativa respectiva, concluyendo que es factible el uso de estas adiciones orgánicas utilizadas en esta investigación para los morteros adhesivos al menos en edades tempranas.

Se recomienda seguir con la investigación de una manera parcial, es decir, enfocarse solo al un tipo de morteros, para poder abarcar mucha más información y estar mas enfocado. También se recomienda incluir pruebas de durabilidad en



morteros estructurales, y poder proponer nuevas adiciones, procedimientos experimentales y mayores edades de prueba para todos los tipos de mortero.

Por lo anterior la hipótesis que dice: “El uso de adiciones orgánicas mejora las propiedades para diferentes tipos y usos de los morteros de construcción, y es factible el uso de adiciones orgánicas parcial o totalmente como sustituto de aditivos sintéticos.” Se valida en edades tempranas (7 y 28 días).



6. Bibliografía

- A.A. Torres Acosta y otros. (2017). MEJORA DE LA DURABILIDAD DE CONCRETOS MEDIANTE ADICIONES DE NOPAL: MUCILAGO Y DESHIDRATADO.
- AENOR UNE-EN 196-1. (febrero de 2005). Parte 1: Determinación de resistencias mecánicas.
- Alejandro, P. R. (2004). MATERIALES BASICOS. En *Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas bituminosas densas de la normativa mexicana mediante el ensayo de pista* (pág. CAPÍTULO 2).
- Alibaba. (2021). *Alibaba*. Obtenido de https://www.alibaba.com/product-detail/Cmc-Carboxymethyl-Cellulose-Highest-Level-Wholesale_62324491311.html?spm=a2700.galleryofferlist.topad_classic.d_image.413962cc5ujGTI
- ASTM-C-150-02. (2016). Standard Specification for Portland Cement.
- Cactus Power México. (2020). *Cactus Power México*. Obtenido de <https://www.cactuspower.mx/mucilago>
- CEMEX. (2021). *CEMEX*. Obtenido de https://www.cemex.com/es/productos-servicios/productos/cemento#_tipos-de-cemento
- Concretos Técnicos. (2016). *Concretos Técnicos*. Obtenido de <http://www.concretostecnicos.mx/fichas.html>
- CONSTRUADITIVOS. (Octubre de 2021). *CONSTRUADITIVOS*. Obtenido de <https://www.construaditivosexmexico.com.mx/galer%C3%ADa/>



CONSTRUMATICA. (03 de MAYO de 2011). Obtenido de

<https://www.construmatica.com/construpedia/Resina>

Curiosoando. (27 de Junio de 2017). *¿Qué es un surfactante o tensioactivo*

aniónico? Obtenido de <https://curiosoando.com/surfactante-o-tensioactivo-anionico>

Gibson, C. A. (1990). *The cactus primer*. Harvard University Press.

Henkel. (Octubre de 2021). *Resistol*. Obtenido de

<https://www.resistol.com.mx/es/profesionales/pegamentos-madera/850-profesional.html>

Holcim. (2021). *Holcim.com*. Obtenido de <https://www.holcim.com.co/productos-y-servicios/cemento/proceso-de-fabricacion-del-cemento>

INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO. (15 de 11 de 2007). *INECC*. Obtenido de

<http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/71/nverdura.html>

Instituto Nacional de Vías. (2007). *RESISTENCIA A LA TENSIÓN DE MORTEROS DE CEMENTO HIDRÁULICO*.

ITM. (2002). *MATERIALES PARA EL CONCRETO HIDRAULICO*.

CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES.

Johanna Aristizábal, T. S. (2007). *Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca*. Roma.

Leon, F. B. (Mayo de 2017). *EVALUACIÓN DE LA DURABILIDAD DE MATRICES DE CEMENTO PORTLAND, CON ADICIÓN DE MUCÍLAGO DE NOPAL*.

NMX-C-057-ONNCCE. (2015). *Determinación de la Consistencia Normal*.



- NMX-C-061-ONNCCE. (2015). DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CEMENTANTES HIDRAULICOS.
- NMX-C-073-ONNCCE. (2004). Masa Volumétrica.
- NMX-C-122-ONNCCE. (2004). Agua para Concreto.
- NMX-C-152-ONNCCE. (2015). *Determinación de la Densidad.*
- NMX-C-159-ONNCCE. (2004).
- NMX-C-165-ONNCCE. (2014). Determinación de la Densidad Relativa y Absorción de Agua del Agregado Fino.
- NMX-C-170-ONNCCE. (2019). Reducción de las Muestras de Agregados Obtenidas en el Campo al Tamaño Requerido para los Ensayos.
- NMX-C-177-ONNCCE. (1997). Determinación del Tiempo de Fraguado de Mezclas de Concreto.
- NMX-C-420-1-ONNCCE. (2017). Mezclas Adhesivas para Instalación de Recubrimientos y Piedras Naturales.
- NMX-C-420-ONNCCE. (2017). Mezclas Adhesivas para la Instalación de Recubrimientos Cerámicos y Piedras Naturales.
- NMX-C-514-ONNCE. (2016). Resistividad Eléctrica del Concreto Hidráulico.
- NMX-C-529-ONNCCE. (2017). Mortero Para Uso No Estructural.
- Sánchez, L. M. (2011). *ANÁLISIS DE MATERIALES*. Morelia.
- Sika. (s.f.). CONCRETO ADITIVOS PARA CONCRETO.
- U.S. Borax Rio Tinto. (Enero de 2021). Las momias de la industria moderna: Los boratos en los adhesivos.
- Universidad de Ciencias y Artes Chiapas. (s.f.). Ácido cítrico.
- Vargas Rodríguez Lorena, y. o. (2016). Propiedades físicas del mucílago de nopal.