



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN
NICOLÁS DE HIDALGO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL

“ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE
DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE
CEMENTO”

PARA OBTENER EL GRADO DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

LUIS ALBERTO GONZÁLEZ LUNA

ASESOR DE TESIS:

DR. ELIA MERCEDES ALONSO GUZMÁN

COASESORES DE TESIS:

M.I. NOEL DÍAZ GONZÁLEZ

M.I. SANDRA DEL CARMEN ARGUELLO HERNANDEZ

Morelia Mich. Diciembre de 2018

Resumen

El uso de nuevos materiales como adición de las mezclas, es un tema que se está investigando en muchos lugares desde tiempos inmemoriales, es decir, cómo se comenzó a construir con los materiales de los lugares de donde se originan las culturas, hasta nuestros tiempos donde se hacen investigaciones que sean en beneficio de la humanidad para que la gente viva de una manera más cómoda o para que los recursos no sean tan explotados y buscar otras alternativas que sean ecológicas a la vez que causen efectos positivos sobre las mezclas.

Se han logrado el implemento de aditivos en donde con cementos comerciales que le hacen beneficios a las mezclas y adquieren mejores propiedades. Mi propuesta consiste en usar un material que su producción es relativamente sencilla para que la obtención de su producto sea mezclado con los componentes de mortero evaluando así su comportamiento tanto mecánico como cuando está en forma de pasta o mezcla , en cuanto a las pruebas que se realizaron a la pasta o mezcla en estado seco fue la consistencia y fraguado, las pruebas mecánicas que se le realizaron fueron esfuerzos a compresión, tensión y flexión para saber las cualidades que el material otorga en las mezclas o si lo perjudica en su aplicación. Haciendo una comparativa con una mezcla de mortero convencional y la otra con la adición. Para el caso de la mezcla convencional se le llamó testigo (test) mientras que a las mezclas con la adición se les nombro extracto de maralfalfa (E.M) término en el que se dedujo del procedimiento del cómo se iba a usar el material, sin embargo lo que se obtiene en realidad es un mucilago hecho con agua quedando un líquido color café y con un olor a dulce que al agregársele a la mezcla se sentía un poco más aguada que la de control y lo de los tiempos de fraguado se cumplió con las pruebas realizadas a distintas edades y con la prueba de tiempos de fraguado.

Palabras Clave: Mucilago de Maralfalfa, Morteros, Adiciones orgánicas, Carbohidratos en cemento, Retardante del fraguado de cemento.

Abstract.

The use of new materials as addition of the mixtures, is a subject that is being investigated in many places since time immemorial, that is, how they began to build with the materials from the places where the cultures originate, until our times where researches are made that are for the benefit of humanity so that people live in a more comfortable way or so that resources are not so exploited and look for other alternatives that are ecological while causing positive effects on mixtures.

Additives have been achieved with commercial cements that benefit the mixtures and acquire better properties. My proposal consists in using a material that its production is relatively simple so that the obtaining of its product is mixed with the mortar components evaluating its mechanical behavior as well as when it is in the form of paste or mixture, in terms of the tests that are made to the paste or mixture in the dry state was the consistency and setting, the mechanical tests that were made were efforts to compression, tension and bending to know the qualities that the material gives in the mixtures or if it harms in its application. Making a comparison with a mixture of conventional mortar and the other with the addition. In the case of the conventional mixture, it was called a control (test), while the mixtures with the addition were named maralfalfa extract (EM), a term in which it was deduced from the procedure of how the material was to be used, however What you get is actually a mucilage made with water leaving a brown liquid and a sweet smell that added to the mixture felt a little more watery than the control and the time of setting was met with the tests carried out at different ages and with the test of setting times.

Key words: Mucilago de Maralfalfa, Mortars, Organic Additions, Carbohydrates in cement, Cement retardant.

Dedicatorias

Este trabajo es dedicado a la memoria de los señores Antonio Luna Villalón y Eduardo Ramos Delgado donde quiera que se encuentren.

Además dedico este trabajo a toda mi familia, en especial a mis padres el señor Vicente Gonzalez Santillán y la señora Magdalena Luna Origel, que son una gran fuente de inspiración para mí que en cuanto a las enseñanzas, de muchas que puedo destacar, es la voluntad inquebrantable de mi padre que a pesar de las circunstancias por las que paso la familia el no decayó de su ánimo para seguir adelante y me ha demostrado que aunque la vida te tumbe mil veces tienes que levantarte una vez más, además de que es un ejemplo a seguir y que todavía me falta mucho camino por recorrer para poder llenar sus zapatos pero que sin embargo sé que voy por el rumbo correcto. Mi madre lo que destaco de ella es su humildad y nobleza donde prioriza lo que es más importante ya que sería capaz de quitarse el bocado para dárselo a quien lo necesita y donde una de las lecciones más importantes que me ha impartido es que la familia es primero y que hay que brindar ayuda a quien la necesite además de que ha sido un gran apoyo para mí en toda la vida que en cuanto necesitaba algo buscaba la forma de como apoyarme.

Además a mis hermanas Yuliana Lizbeth González Luna y Zaira Angélica González Luna les dedico este trabajo para que pronto se cumplan todos sus proyectos.

Agradecimientos

Agradezco a Dios quien me prestó vida y voluntad para poder llegar hasta aquí y el haberme abierto el camino en la realización de este trabajo.

A la Doctora Elia Mercedes Alonso Guzmán por tenerme una gran fe al momento desde que le presente mi propuesta de trabajo, aun cuando la mayoría de mis familiares desconfiaban de lo que hice.

Al maestro Noel Díaz González por haberme ayudado al realizar las pruebas correspondientes para la realización de la mezcla.

A la maestra Sandra del Carmen Argüello por aclarar en cómo se iba a usar el material en la realización de este trabajo.

Al señor Víctor Hugo Trujillo Luna por haberme proporcionado el material para la realización de las pruebas que sin duda fueron de mucha ayuda que sin este material no se pudo haber hecho este proyecto.

A mi padre que a pesar de las circunstancias en las que se encontraba la familia siempre tuvo la disposición de ayudarme en la realización de la carrera desde que comencé a estudiar y que siempre me alentaba junto con mi madre.

A los compañeros del laboratorio de materiales Ing. Luis Silva Ruelas tanto maestros como los compañeros del servicio social que me ayudaron en toda las pruebas. Y por darme la oportunidad de trabajar con ustedes.

A mis compañeros de la licenciatura José de Jesús Benítez, Josué Ángel, Marco Antonio Serna, Kitzia Arizmendi, Johan Villagrán, Eduardo Ramos, Alejandro López, y Adriana Pelagio, grandes amigos con quien pase momentos muy agradables.

Índice.

Índice

Resumen	I
Abstract	II
Dedicatorias	III
Agradecimientos	IV
Índice.	V
Índice de tablas	VIII
Índice de figuras e ilustraciones	IX
Índice de gráficas.	XII
Objetivo.	XIV
1. Introducción.....	1
2. Marco teórico	2
2.1. Generalidades de los materiales	2
2.2. Cemento	3
2.2.1. Definición	3
2.2.2. Historia	4
2.2.3. Proceso de elaboración del cemento	6
2.2.4. Tipos de cemento	9
2.2.5. Fraguado.	15
2.2.6. Estructura del cemento hidratado	17
2.2.7. Volumen de los productos de hidratación.	17
2.2.8. Sangrado y asentamiento.	20
2.2.9. Agua retenida en la pasta de cemento hidratado	21
2.2.10. Influencia en la composición de compuestos en las propiedades del cemento.	23

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

2.3. Agregados	23
2.3.1. Definición	24
2.3.2. Adherencia del agregado	24
2.3.3. Resistencia del Agregado	25
2.3.4. Materiales potencialmente perjudiciales	25
2.3.5. Reactividad Alkali-Agregado	26
2.3.6. Beneficio de los agregados	27
2.3.7. Otras fuentes de obtención de Agregados	28
2.4. Aditivos.....	29
2.4.1. Beneficios de los aditivos	29
2.4.2. Factores a tomar en consideración para el uso de aditivos.	30
2.4.3. Aspectos económicos para el uso de Aditivos.....	33
2.4.4. Tipos de aditivos	34
2.5. Preparación del mucilago	41
2.6. Morteros.....	46
2.6.1. Definición.	46
2.6.2. Historia de los morteros.	47
2.6.3. Usos.	48
2.6.4. Tipos de mortero.	49
3. Desarrollo experimental.....	50
3.1. Pruebas del cemento.....	50
3.1.1. Consistencia normal del cemento	50
3.1.2. Tiempos de fraguado del cemento	53
3.2. Caracterización de los agregados	54
3.2.1. Muestreo y cuarteo de los agregados	54

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

3.2.2. Masa volumétrica seca y suelta.	56
3.2.3. Masa volumétrica seca y varillada.	58
3.2.4. Granulometría	59
3.2.5. Humedad superficialmente seca y Humedad de absorción.	61
3.2.6. Densidad de la arena.	64
3.2.7. Colorimetría en arenas	66
3.2.8. Sedimentación en arenas	69
3.3. Diseño de mezcla y elaboración de los especímenes	70
3.3.1. Diseño de mezcla.	70
3.3.2. Elaboración de los especímenes.	71
3.4. Pruebas no destructivas	76
3.4.1. Porosidad total en morteros.	77
3.4.2. Densidad de morteros.	78
3.4.3. Resistividad eléctrica.	79
3.4.4. Velocidad de Pulso Ultrasónico (VPU).	82
3.5. Pruebas destructivas	85
3.5.1. Compresión Simple en Morteros.	85
3.5.2. Esfuerzo a tensión en morteros.	88
3.5.3. Flexión en morteros.	90
4. Resultados Obtenidos	91
4.1. Resultados de las pruebas del cemento.	91
4.1.1. Resultados de la consistencia normal del cemento.	91
4.1.2. Resultados de los tiempos de fraguado del cemento.	92
4.2. Resultados de la caracterización de los agregados.	92
4.2.1. Muestreo y cuarteo de los materiales.	92

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

4.2.2. Resultados de masa volumétrica seca y suelta.	93
4.2.3. Resultados de masa volumétrica seca y varillada.	93
4.2.4. Resultados de la granulometría.	94
4.2.5. Resultados de la humedad superficial y absorción.	94
4.2.6. Resultados de la prueba de densidad.	95
4.2.7. Resultados de la prueba de colorimetría.	95
4.2.8. Resultados de la prueba de sedimentación.	96
4.3. Parámetros para diseño de las mezclas.	96
4.3.1. Diseño por fluidez.	96
4.4. Resultados de las pruebas no destructivas.	96
4.4.1. Resultados de la porosidad total.	96
4.4.2. Resultados de la densidad.	97
4.4.3. Resultados de la Resistividad Eléctrica.	98
4.4.4. Resultados de la Velocidad de Pulso Ultrasónico (VPU).	100
4.5. Resultados de las pruebas destructivas.	102
4.5.1. Resultados de Compresión Simple en Morteros.	102
4.5.2. Resultados del Esfuerzo a Tensión en Morteros.	104
4.5.3. Resultados del Esfuerzo a Flexión en morteros.	104
Conclusiones.	105
Bibliografía.	106

Índice de tablas

Tabla 1. Criterios de evaluación de riesgo de corrosión de mezclas de concreto.	82
Tabla 2. Criterios de evaluación de concretos.	84

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

Tabla 3. Tiempo de tolerancia en cuanto a la ruptura de cubos.	86
Tabla 4. Resultados de la prueba de consistencia.	92
Tabla 5. Resultados de los tiempos de fraguado.	92
Tabla 6. Resultados de la masa volumétrica seca y suelta	93
Tabla 7. Resultados de la masa volumetrica seca y varillada	93
Tabla 8. Resultados del porcentaje de Absorción.	95
Tabla 9. Resultados de la densidad	95

Índice de figuras e ilustraciones

Figura 1 Plantío de maralfalfa. Por Luis Alberto González	44
Figura 2 Maralfalfa puesta al sol para secar. Por Luis Alberto González	45
Figura 3 Agua resultante del mucilago. Por Luis Alberto González.....	45
Figura 4 Determinación del pH del Mucilago por el medidor digital. Por Luis Alberto González	46
Figura 5 Determinación del pH por medio de las tiras de papel. Por Luis Alberto González	46
Figura 6. Aparato de Vicat. Por Luis Alberto González.....	51
Figura 7 Obtención de los 300g de cemento. Por Luis Alberto González	52
Figura 8 Colocación del cemento en la capsula para mezclar con el agua. Por Luis Alberto González	52
Figura 9 Muestra representativa de arena puesta a secar. Por Luis Alberto González.....	55
Figura 10. Dimensiones del recipiente de masa volumétrica. Por Luis Alberto González ..	57
Figura 11. Llenado del recipiente hasta 5 cm de la altura del borde. Por Luis Alberto González	57
Figura 12. Enrasado del recipiente. Por Luis Alberto González	57
Figura 13. Obtención de la masa de la arena más el recipiente. Por Luis Alberto González	57
Figura 14. Compactación de las primeras capas. Por Luis Alberto González.....	59
Figura 15. Compactación de la última capa. Por Luis Alberto González.....	59

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

Figura 16. Mallas y raf-tap habilitados con una muestra de arena en el interior de estas. Por Luis Alberto González.....	60
Figura 17. Material retenido de las mallas pesado y colocado en hojas de papel. Por Luis Alberto González.....	61
Figura 18. Una muestra de agregado fino que se puso en calor para que perdiera humedad. Por Luis Alberto González.....	63
Figura 19. Prueba del molde troncocónico. Por Luis Alberto González.....	63
Figura 20. Obtención de la humedad por medio del cristal. Por Luis Alberto González.....	63
Figura 21. Determinación del peso seco del agregado. Por Luis Alberto González.....	63
Figura 22. El agregado está en estado óptimo para la realización de la prueba. Por Luis Alberto González.....	64
Figura 23. Obtención de la masa del vaso de Chapman. Por Luis Alberto González.....	65
Figura 24. Vaso llenado con agua hasta la marca de 200 ml. Por Luis Alberto González...	65
Figura 25. Colocación del agregado y homogeneizado con el agua. Por Luis Alberto González.....	65
Figura 26. Relleno de agua hasta la marca de 400 ml. Por Luis Alberto González.....	65
Figura 27. Solución de sosa caustica. Por Luis Alberto González.....	67
Figura 28. Llenado de botella para la prueba de colorimetría. Por Luis Alberto González ..	68
Figura 29. Botellas llenadas hasta la primera marca. Por Luis Alberto González.....	68
Figura 30. Botellas llenadas de sosa cáustica hasta la segunda marca. Por Luis Alberto González.....	68
Figura 31. Botellas llenadas y agitadas. Por Luis Alberto González.....	68
Figura 32. Muestras de colorimetría dejadas en reposo durante un día. Por Luis Alberto González.....	68
Figura 33. Comparación de la colorimetría por medio de la tabla. Por Luis Alberto González.....	68
Figura 34. Llenado de los frascos hasta la primera marca. Por Luis Alberto González.....	70
Figura 35. Frascos llenados de agua, tapados y agitados. Por Luis Alberto González.....	70
Figura 36. Consolidación de los sedimentos hasta la segunda marca. Por Luis Alberto González.....	70

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

Figura 37. Mezcla del cemento mas la arena en proporcion 1:2.75 respectivamente. Por Luis Alberto González.....	71
Figura 38. Administración del agua propuesta en la relación agua cemento. Por Luis Alberto González.....	71
Figura 39. Mezclado del mortero por determinación de la fluidez. Por Luis Alberto González.....	71
Figura 40. Determinación de la fluidez la compactación con el pisón. Por Luis Alberto González.....	71
Figura 41. Mezclado del mortero bajo un proporcionamiento establecido. Por Luis Alberto González.....	73
Figura 42. Llenado de los moldes en capas y en distintas molduras. Por Luis Alberto González.....	73
Figura 43. Compactación con el pisón. Por Luis Alberto González.....	74
Figura 44. Enrasado de los especímenes en los moldes. Por Luis Alberto González.....	74
Figura 45. Prismas elaborados y puestos en reposo para despues colocarlas a reposar. Por Luis Alberto González.....	75
Figura 46. Determinación de la masa superficialmente seca de los especímenes. Por Luis Alberto González.....	78
Figura 47. Determinación de la masa sumergida de los especímenes. Por Luis Alberto González.....	78
Figura 48. Obtención de la masa seca de los especímenes. Por Luis Alberto González.....	78
Figura 49. Determinación de la masa de un espécimen en forma de cubo. Por Luis Alberto González.....	79
Figura 50. Determinación del volumen de especímenes en forma cúbica. Por Luis Alberto González.....	79
Figura 51. Resistómetro. Por Luis Alberto González.....	81
Figura 52. Obtención de las Dimensiones de una muestra de cubo. Por Luis Alberto González.....	81
Figura 53. Obtención de la resistencia eléctrica en una muestra de morteros. Por Luis Alberto González.....	81

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

Figura 54. Aparato usado para la determinación de la velocidad de pulso ultrasónico. Por Luis Alberto González.....	84
Figura 55. Obtención de las dimensiones del espesor en muestras. Por Luis Alberto González.....	84
Figura 56. Obtención de la velocidad de pulso ultrasónico. Por Luis Alberto González.....	84
Figura 57. Determinación de las dimensiones de los especímenes de forma cúbica. Por Luis Alberto González.....	86
Figura 58. Espécimen de cubo sometido a compresión. Por Luis Alberto González.....	86
Figura 59. Determinación del diámetro de la sección circular del espécimen cilíndrico. Por Luis Alberto González.....	88
Figura 60. Cabeceo de los cilindros en su sección circular. Por Luis Alberto González.....	88
Figura 61. Muestra de cilindro sometida a compresión. Por Luis Alberto González.....	88
Figura 62. Determinación de las dimensiones de la sección más desfavorable en las briquetas. Por Luis Alberto González.....	89
Figura 63. Briqueta sometida a tensión en la máquina tipo Michaelis. Por Luis Alberto González.....	89
Figura 64. Viga sometida a flexión. Por Luis Alberto González.....	91
Figura 65. Ruptura del espécimen. Por Luis Alberto González.....	91
Ilustración 1 llenado capas 1 y 3.....	72
Ilustración 2. Forma de llenado de los prismas.....	74

Índice de gráficas.

Grafica 1. Distribución de la granulometría.....	94
Grafica 2. Resultados de la porosidad total.....	97
Grafica 3. Resultados de la densidad en morteros.....	98
Grafica 4. Resultados de la resistividad eléctrica en cubos.....	99
Grafica 5. Resultados de la resistividad eléctrica en prismas.....	99
Grafica 6. Resultados de la resistividad eléctrica en cilindros.....	99
Grafica 7. Resultados de la velocidad de pulso ultrasónico en cubos.....	101
Grafica 8. Resultados de la velocidad de pulso ultrasónico en prismas.....	101

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN
MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

Grafica 9 Resultados de la velocidad de pulso ultrasónico en cilindros.....	102
Grafica 10. Resultados en compresión simple en cubos.....	103
Grafica 11. Resultados en compresión simple en cilindros.....	103
Grafica 12. Resultados de la tension directa.....	104
Grafica 13. Resultados de la flexion.....	105

Objetivo.

El principal uso de aditivos en la mezcla es el de mejorar las cualidades de estas y lo que se pretende analizar con esta adición es precisamente las cualidades que le proporciona a la mezcla de mortero así si se tiene alguna cosa que destacar es que primero se analice que componentes tiene la planta conocida como maralfalfa (*pennisetum sp*) que lo que se deduce es como es una planta y todas contienen cierta cantidad de hidratos de carbono o lo que coloquialmente se le conoce como azúcares y a lo que se quiere llegar con estos hidratos de carbono es analizar el comportamiento que sufren las mezclas con este material que lo que se espera es que aumente su resistencia y que en el caso de este material es un buen retardante del fraguado por lo que se espera en este material que desarrolle estas propiedades. Otro aspecto en el que se quiere mejorar es el empleo de los elementos primordiales o básicos en las mezclas que para este caso es el cemento que su empleo se basa en la adherencia entre las demás elementos que son los agregados y una manera de mejorar el empleo de estos elementos es el hacer la mezcla más trabajable sin que se pierda la resistencia de estas mezclas que sería la resolución de un problema.

1. Introducción

Por las demandas que hay en el mercado ha hecho que la producción del cemento sea cada vez más constantes que tan solo en el periodo de 2005 al 2015 se produjeron en promedio 45.7 millones de toneladas de cemento del cual se produce un 8% del dióxido de carbono y haciendo mucho uso de las explotaciones de las canteras que son básicamente muchos de los recursos naturales se pierden al momento de extraer la materia prima para la realización del cemento. (Vásquez & Corrales, 2017) Otra de las problemáticas es que en cuanto al cemento se requiere de mucha energía en la realización del cemento esto en cuanto par a mantener la energía del alto horno hasta cierto nivel de grados Celsius lo que es un problema ya que para realizar cemento se requiere de cierta temperatura donde sí se requiere un tipo de cemento en específico con ciertas condiciones se requiere que haya ciertas modificaciones en cuanto al proceso de fabricación, una de estas es en la limpieza del alto horno donde si no se le realiza la limpieza se puede contaminar el cemento por producir con los residuos que quedan en el horno provocando que las condiciones o factores en los que se fue diseñado el cemento para lo cual se debe de hacer limpieza más que nada del horno para la realización del cemento. En la actualidad el cemento cuando se quiere de un tipo en específico se requiere que la obra sea de tal magnitud para hacer un pedido a las cementeras para la realización del cemento y poder realizarlo y se habla de toneladas de cemento para realizar el pedido para lo cual se ha implementado que se le deben de agregar elementos de otras procedencias y orígenes en donde se le agregan a los componentes básicos de las mezclas en donde se puede usar el tipo de cemento más comercial agregándosele a este de modo que se pueda cambiar las condiciones y cualidades de las mezclas en general.

Desde la antigüedad el ser humano ha usado su ingenio para hacer cosas de las cuales pueden ser maravillas o para la solución de problemas que en su vida cotidiana, en la actualidad el humano ha hecho uso de sus recursos sin embargo ha hecho uso de sus recursos muy limitadamente causando además muchos desperdicios de sus recursos generando residuos para lo que en la actualidad se producen muchas toneladas de residuos en el mundo. Muchos de los residuos son producto de ciertos procesos de los cuales son materiales que se usan en la vida diaria los seres humanos, pero que pasa con los materiales

que provienen directamente de la naturaleza en donde su uso está más enfocado para otros usos y al analizar el contenido que tiene en los distintos tipos de niveles tanto molecular hasta de la forma física en donde de la forma que se componen los materiales al combinarlos con las mezclas de cemento puede alterar su composición y función. La experimentación con los materiales puede ser una buena alternativa en cuanto a agregarse a la mezcla ya que puede mejorar las cualidades y pueden reducir el uso de los elementos principales de la mezcla del concreto aunque también puede perjudicar dicha mezcla.

2. Marco teórico

2.1. Generalidades de los materiales

El hombre desde sus orígenes ha tenido que adaptarse a su entorno en cualquier lugar del planeta donde se encuentre para poder subsistir y mejorar, para lograr esto se hace valer de los materiales que le proporciona la naturaleza: de origen vegetal, animal y mineral con los cuales no solo pudo subsistir sino que también ha creado maravillas que han perdurado hasta los tiempos actuales, todo esto gracias a su ingenio y a la observación de los fenómenos que ocurren cada día en la naturaleza, la humanidad ha sabido ganar experiencia para actuar ante los problemas que se le presentan, lo cual ha generado que la humanidad se posicione en una zona de confort, que permite a las personas hacer más cosas en un menor tiempo que antes y hacerlas de una mejor calidad. En nuestro caso nos enfocaremos en materiales usados en la construcción como el cemento, agregados, agua y algunas adiciones; hablando de su función, origen, importancia, y algunos fenómenos que sufren al ser mezclados además de los usos más comunes y del impacto que sufre la naturaleza en su obtención, y de normas que nos dictan que materiales son más adecuados para la construcción en base a pruebas físicas de naturaleza destructiva y no destructiva, también nos dan algunas recomendaciones al usar los materiales con el fin de aumentar su resistencia, edad o vida útil, y con mayor calidad en respuesta a las sollicitaciones que la misma naturaleza de la construcción pueda llegar a tener así como respuestas favorables al clima, catástrofes, condiciones específicas que las mismas construcciones puedan responder respecto a su diseño, tal es el caso de las plantas nucleares o las presas o embalses que si su

diseño falla puede perjudicar a muchas personas ya que en su diseño no deben de tener casi margen de error, sin contar que para el diseño de construcciones también deben de responder a las condiciones que actualmente se presentan como a los gases del efecto invernadero y hasta la contaminación por ruido. Por lo que se están implementando nuevas tecnologías que permiten a las construcciones en este caso hechas de cemento sean de tecnologías verdes que ayuden al medio ambiente o estar a la vanguardia con respecto a los nuevos retos que se vayan presentando en años venideros y una de las maneras de hacerlo es el aprovechamiento de los recursos en su totalidad o lo más que se puedan debido que se están quedando escasos y de esta manera reducir el impacto en el medio ambiente y para la preservación de los recursos para las generaciones venideras.

2.2. Cemento

2.2.1. Definición

El cemento portland es un material que se usa en la construcción, su composición se basa principalmente por silicatos hidráulicos de calcio, que al estar en contacto con el agua sufre un estado al que se le conoce como hidratación y provoca reacciones exotérmicas que al transcurso del tiempo adquiere rigidez y dureza, la combinación del cemento con el agua se le denomina pasta; el cemento es uno de los materiales más usados en el mundo debido a su versatilidad, ya que puede ser muy trabajable y puede ganar resistencia importante ideal para usarse en la construcción.

Al cemento para que mejoren sus características se le agregan de primera instancia otros materiales denominados agregados pétreos que dependiendo del tamaño de los agregados a la mezcla se le nombra de distinta manera: en el caso de que solo se le agregue arena (agregados de tamaño de malla de no.200 a la de no. 4) a la mezcla se le llama mortero; si a la pasta además de agregarle arena, se le pone grava (agregados de tamaño de malla de no. 4 hasta 3") a la mezcla se le conoce como concreto u hormigón. Siendo ambas mezclas muy usadas en la construcción, el mortero se utiliza en mampostería como adherente o pegamento en la unión de rocas y tabiques, además de aplanado en muros de edificaciones, que a su vez proporciona acabado y durabilidad a los elementos estructurales. La otra mezcla es el concreto que básicamente es uno de los materiales más usados en la construcción, esta mezcla puede usarse en cualquier tipo de estructura, dependiendo de la

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

calidad de la misma o del diseño, ya sea concreto simple (usado en caminos), concreto armado (usado en edificaciones). Además existen adiciones que se le agregan al concreto para mejorar sus características físico-mecánicas tanto en estado fluido como en estado endurecido, las adiciones líquidas más comunes son: inclusores de aire, fluidificantes, súper fluidificantes, acelerantes y retardantes; las adiciones sólidas son: cenizas, polímeros y fibras naturales, principalmente. Estas adiciones también se pueden utilizar como sustituciones, al reducir en cierta proporción alguno de los materiales básicos del concreto, lo cual beneficiaría ambientalmente y económicamente. En el caso de este trabajo se utilizó el mucílago de mar-alfalfa como adición a la mezcla de mortero, para observar los efectos positivos o negativos que se presenten.

El cemento ya sea en mortero o concreto adquiere su mayor resistencia en el transcurso de 28 a 30 días y puede mejorar sus características de adherencia y resistencia con un proceso denominado curado, el cual consiste en evitar la evaporación de agua mediante una barrera impermeable (plástico) e hidratar la mezcla en el momento en que el cemento adquirió su fraguado final, lo cual depende del clima. El clima es un factor que interviene en las condiciones favorables para que el cemento (empleado en concreto o mortero) gane resistencia extra al paso de los años. (Steven H. Kosmatka, 2004).

2.2.2. Historia

En la antigüedad se han descubierto indicios de haber usado la arcilla como unión de piedra con el fin de hacer muros o estructuras sólidas para protección propia del ser humano. En el año de 1985 en Galilea, Israel; existen elementos hechos a base de concreto que datan desde 7000 A.C. uno de ellos es la carretera de Yiftah. El, la cual estaba construida a base de cal, obtenida de la calcinación de la caliza con la que se producía cal viva, este producto se mezclaba con agua y piedras, se colocaba en la superficie y endurecía, hasta formar un concreto. (H, 2011)

Otro antecedente histórico importante sobre el cemento data del año 2500 A.C. cuando se construyeron las pirámides de Guiza en Egipto, algunos historiadores afirman que se usó la cal como cementante (mortero) para la unión de las rocas, aunque hay otros que dicen que se utilizó otro cementante a base de la quema del sulfato de calcio. Los griegos a partir del año 500 A.C. usaban la cal como mortero para el recubrimiento de

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

muros, y como conglomerante de piedras y ladrillos para templos y monumentos, además de utilizar la cal como revestimiento de las calizas ya que eran muy porosas. (H, 2011)

Los romanos fueron los responsables del nombre que hasta la actualidad se le conoce al concreto que proviene del latín “*concretus*”, que significa crecido junto o compuesto. Los romanos perfeccionaron el cemento al mezclar cal con ceniza que provenía del monte Vesubio cerca del pueblo de *Pozzuoli*, por lo que llamaron a esta mezcla cemento Puzolánico, un cementante con mejores características, ya que en las cenizas se encuentran compuestos como la sílice y alúmina. Los muros, monumentos y centros históricos de Roma así como el Coliseo y el Panteón se hicieron a base de este cemento, además del teatro en Pompeya con una capacidad para albergar a 20000 espectadores. La mezcla puzolánica no se usó en la edad media, sino hasta en el siglo XIV a consecuencia de que las construcciones resultaban menos refinadas y carentes de calidad. Hasta el siglo XVIII en Inglaterra *John Smeaton* observó que la cal que contenía arcilla, tenía mejores propiedades cementantes respecto a otras mezclas, dicho descubrimiento lo llevó a ser nombrado padre de la ingeniería civil. (H, 2011) *Smeaton* importó la mezcla puzolánica desde Italia con el fin de reconstruir el Faro de Eddy Stone en el Canal de la Mancha, Suroeste de Plymouth, Inglaterra. Este proyecto duró 3 años, comenzando a operar en 1759. Ésta obra ganó reconocimiento por desarrollo en la industria de la construcción. (H, 2011)

Años después se han hecho descubrimientos sobre los cementos naturales. La diferencia que hay entre la cal hidráulica y el cemento natural, está en función de la temperatura alcanzada durante la calcinación, además de que el cemento natural tiene que molerse de manera muy fina y la cal se puede rehidratar formando terrones. El cemento natural es más resistente que la cal, pero menos resistente que el Cemento Portland. La invención del cemento se le atribuye al albañil *Josep Aspidin* quien después lo patentó con el nombre de Cemento Portland para el año de 1824, diciéndole Portland debido a la isla de mismo nombre, ya que de ahí era de donde se extraía el material (caliza) el cual es una de las materias primas para su fabricación. Este nombre ha trascendido generaciones, ya que muchas empresas productoras usan el nombre para ponérselo a sus materiales (cemento) en sus respectivas marcas. (H, 2011)

Aspidin fue el primero en patentar el cemento prescribiendo la fórmula de fabricación mientras que en 1845, I.C. Johnson de White & Sons, Swanscombe, Inglaterra. Afirmó que había quemado los materiales a temperaturas altas vitrificando así su masa lo que dio al cemento como lo conocemos actualmente. A partir de lo que hizo Johnson de White se comenzó a usar el Cemento Portland para construcción hacia la mitad del siglo XIX exportándose el material a distintas partes del mundo. Comenzando también la producción en Bélgica, Francia y Alemania, exportándose además a Estados Unidos para el año de 1865. La primera productora del cemento en USA fue en Pensilvania, en 1871 siguiendo los países Latinoamericanos entre ellos México en los siguientes años desde 1888 hasta 1949. (*Steven H. Kosmatka, 2004*)

2.2.3. Proceso de elaboración del cemento

El cemento Portland es producto de la pulverización del Clinker, que es un material que contiene compuestos como el Sílice, Aluminatos de Calcio, Ferro aluminatos de calcio y yeso. Donde los materiales normalmente provienen de las canteras, sin embargo suelen provenir también del resultado de procesos de producción de otros materiales que consumimos de manera cotidiana, estos materiales se deben de agregar con cierta proporción, ya que la correcta dosificación de los compuestos al mezclarse garantizan que el cemento sea de buena calidad.

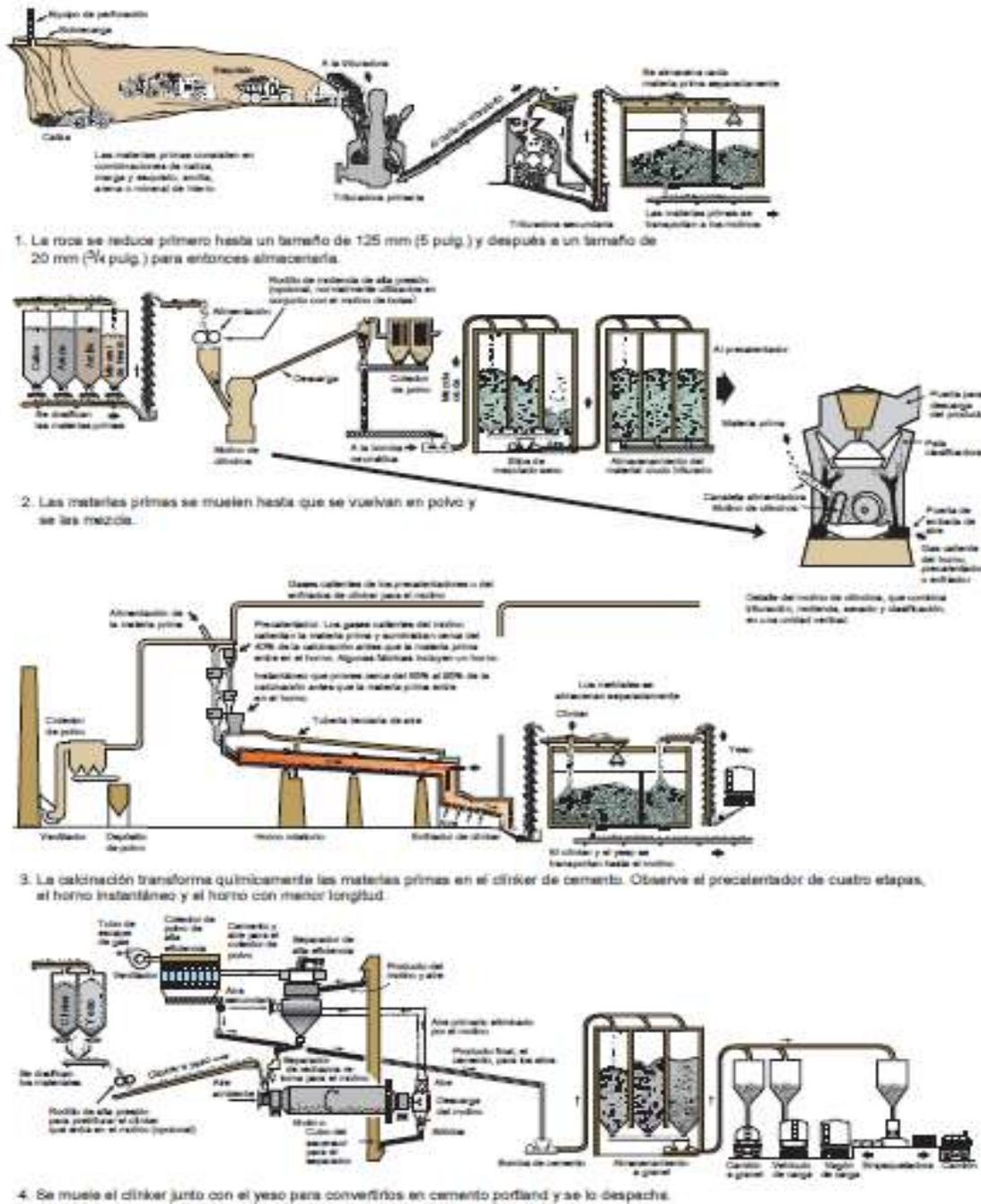
Cada planta cementera lleva su propio procedimiento para la fabricación, cumpliendo los estándares de calidad que rigen las normativas vigentes, de manera general a continuación se explica el proceso de fabricación:

- I. La mayoría de los materiales son extraídos de las canteras y un porcentaje menor son subproductos de industrias (acereras, termoeléctricas, azucareras, etc.). Los materiales se trituran, muelen y dosifican en porcentajes óptimos antes de su calcinación.
- II. El cemento puede fabricarse por la vía seca o por la vía húmeda. Por vía seca los materiales se mezclan al momento de su trituración y molienda, mientras que por vía húmeda a los materiales se les agrega agua durante el proceso de triturado y mezclado.

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

- III. Después de haberse mezclado los materiales éstos se disponen para colocarlos en el horno inclinado a velocidad rotatoria constante. Estos materiales se someter a energía térmica de 1400 a 1500°C ocurriendo una reacción endotérmica, que da origen al producto llamado Clinker.
- IV. El Clinker se enfría, posteriormente se agrega yeso para continuar con un proceso de trituración y así formar el cemento.
- V. El cemento se almacena en silos, o es puesto a la venta en sacos o en tanques a granel para venderse al público. (Steven H. Kosmatka, 2004)

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO



. FIGURA 1.- PROCESO DE ELABORACIÓN DEL CEMENTO (Steven H. Kosmatka, 2004)

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

<u>Cal, CaO</u>	<u>Hierro Fe₂O₃</u>	<u>Sílice SiO₂</u>	<u>Alúmina Al₂O₃</u>	<u>Yeso o Sulfato, CaSO₄·2H₂O</u>
Desechos industriales	Polvo de humo de horno de fundición	Silicato de calcio	Mineral de aluminio*	Anhidrita
Aragonita*	Arcilla*	Roca calcárea	Bauxita	Sulfato de calcio
Calcita*	Mineral de hierro*	Arcilla*	Roca calcárea	Yeso*
Polvo del horno de cemento	Costras de laminado*	Ceniza volante	Arcilla*	
Roca calcárea	Lavaduras de mineral	Greda	Escoria de cobre	
Creta	Cenizas de pirita	Caliza	Ceniza volante*	
Arcilla	Esquisto	Loes	Greda	
Greda		Marga*	Granodiorita	
Caliza*		Lavaduras de mineral	Caliza	
Mármol		Cuarcita	Loes	
Marga*		Ceniza de arroz	Lavaduras de mineral	
Coquilla		Arena*	Esquisto*	
Esquisto*		Arenisca	Escoria	
Escoria		Esquisto*	Estauroлита	
		Escoria		
		Basalto		

Figura2.- fuentes principales de las materias primas para la fabricación del cemento (Steven H. Kosmatka, 2004)

2.2.4. Tipos de cemento

Por lo general en cada país la clasificación del cemento es diferente, pero sólo nos enfocaremos en las normas ASTM de USA y las normas Mexicanas.

2.2.4.1. Tipos de cemento en Estados Unidos

La norma más común de clasificar los cementos en Norteamérica es la ASTM C150 aunque existen otras como la AASHTO M85 y la ASTM 1157. La ASTM C150 tiene 8 tipos de cemento clasificándolos con números romanos como se muestra a continuación:

- Tipo I: Normal.
- Tipo IA: Normal con aire incluido.
- Tipo II: Moderada resistencia
- 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. (Steven H. Kosmatka, 2004)

Tipo I.

Este cemento es usado en lugares o situaciones donde no requiere características específicas, su uso es muy común por lo que se usa para hacer pavimentos, pisos, puentes,

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

estructuras de concreto armado e infinidad de elementos y productos de concreto precolado como blocks, adocretos, tabicones, etc. (Steven H. Kosmatka, 2004)

Tipo II.

Por una proporción menor o igual que 8% de aluminato tricálcico (C3A) que contiene este tipo de cemento tiene una resistencia moderada a los sulfatos por lo que su uso está en estructuras normales, miembros que están en contacto con suelos y estructuras que se encuentran en contacto con aguas subterráneas. Los sulfatos presentes en el agua o suelos penetran directamente por los poros que se encuentran en el concreto provocando expansiones, desgarramientos y agrietamientos a causa de que los sulfatos reaccionan con el Aluminato tricálcico (C3A). Esto se evita usando este tipo de cemento, además de controlar la relación Agua-Cemento y que tenga permeabilidad relativamente baja.

Este cemento es ideal para usarse en estructuras de concreto que se encuentran expuestas al agua de mar. Ya que ésta además de tener una cantidad considerable de sulfatos, tiene cloruros que inhiben la expansión producida por la reacción que resulta al combinar el C3A con sulfatos. Este tipo de cemento cuenta además con un moderado calor de hidratación por lo que es ideal para usarse en estructuras de gran volumen como pilares, cimientos y muros de contención, ya que son estructuras que requieren que no tengan mucha temperatura o moderada liberación de energía térmica, que por esta misma reacción exotérmica pueden agrietarse, por lo que es muy importante que el diseñador tome en cuenta el calor de hidratación a la hora de hacer sus diseños. Este cemento tiene las mismas cualidades que el cemento de tipo I con la excepción de que resiste sulfatos y tiene menor calor de hidratación. (Steven H. Kosmatka, 2004)

Tipo III.

La partícula de este tipo de cemento es más fina debido al proceso de molienda, lo cual indica que su resistencia inicial aumenta por lo que es ideal para usarlo en construcciones donde el concreto requiere que su descimbrado o desencofrado sea en menor tiempo, o en lugares donde hay climas muy fríos. Este cemento adquiere una resistencia igual o semejante a los 3 días que con el cemento de tipo I a los 7 días. (Steven H. Kosmatka, 2004)

Tipo IV

Este cemento es de bajo calor de hidratación y por lo general es usado en estructuras masivas como las presas a gravedad, donde se necesita que el calor de hidratación sea mínimo para no generar agrietamientos, este tipo de cemento es muy raro en el mercado y por lo tanto no existe a la venta, ya que solamente se produce sobre-pedido mediante cantidades importantes para obras de características especiales. Una de las estructuras más famosas hechas de concreto con este tipo de cemento fue la presa Hoover, que es una de las principales hidroeléctricas que abastecen de energía eléctrica el estado de Nevada en USA. (Steven H. Kosmatka, 2004)

Tipo V

A este tipo de cemento se le atribuye que son muy resistentes a los sulfatos, ya que tienen una proporción de aluminato tricáclico menor o igual al 5%, por lo que son ideales para construir estructuras que estén expuestas a cantidades elevadas de sulfatos, tales como algunos suelos y yacimientos de aguas subterráneas, sin embargo no es tampoco un material excesivamente bueno por lo que también se le debe de cuidar su relación Agua-Cemento, así como su baja permeabilidad. (Steven H. Kosmatka, 2004). Unas de las estructuras que presentan estas condiciones de sulfatos son las plantas generadoras de electricidad por medio de energía geotérmica, como es el caso de la planta geotérmica que se encuentran en los Azufres, Michoacán. Es importante señalar que todos los tipos de cemento sin excepción no resisten el ataque de los ácidos o alguna otra sustancia dañina, sin embargo existen cementos con mejores características que otros para enfrentar a estos ácidos, y así poder extender su vida útil de servicio.

Cementos con aire incluido

Estos cementos por lo general tienen la capacidad de resistir pruebas de congelamiento y deshielo, su elaboración consiste en la molienda de: Clinker + yeso + aditivo inclusor de aire. Estos inclusores de aire solamente se mezclan con los cementos del tipo I, II y III de la clasificación de la ASTM. Sin embargo solo se producen y comercializan en algunas regiones actualmente. (Steven H. Kosmatka, 2004)

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

Cemento Portland blanco

Este cemento adquiere su característico color debido a que al proceso de fabricación sus materiales son seleccionados minuciosamente, ya que no contienen óxidos de hierro y óxido de magnesio, debido a que estos 2 componentes son los responsables de darle el color gris al cemento. Este cemento por lo regular es usado con fines arquitectónicos en muros estructurales, concreto prefabricado y concreto reforzado con fibras de vidrio, paneles de fachada, mortero para ladrillos y concreto decorativo. Fue desarrollado por primera vez en las ciudades de Nueva York y Pensilvania en USA. (Steven H. Kosmatka, 2004)

Cementos hidráulicos con adiciones (Mezclados o compuestos)

Clasificación USA.

Para la producción del concreto actualmente existen muchos materiales que se le adicionan al cemento o lo sustituyen parcialmente. Estos materiales por lo general tienen propiedades cementantes y pueden mejorar sus características físico-mecánicas. Estos materiales en su mayoría son resultado de otros procesos industriales, los cuales quedan como residuos o desechos, como es el caso de las escorias de alto horno, cenizas volantes, puzolanas, entre otros. Algunos de estos residuos se usaban mucho antes de la invención del cemento debido a sus propiedades cohesivas, y ahora en conjunto con el cemento proporcionan resultados extraordinarios. A continuación se menciona la nomenclatura y significado de las adiciones más importantes que se agregan al Clinker + yeso para producir Cemento Portland de acuerdo a la ASTM C595:

Tipo IS.- Cemento Portland de alto horno.

Tipo IP y Tipo P.- Cemento Portland puzolánico.

Tipo I (PM).- Cemento Portland modificado con puzolanas.

Tipo S.- Cemento con escoria o siderúrgico.

Tipo IS.

Para la realización de este cemento lo que se requiere es que al momento de la molienda del Clinker, se le agrega escoria granular de alto horno. La proporción de escoria representa del 25 al 70% en masa del cemento.

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

Tipo IP y Tipo P

Lo que caracteriza a estos cementos es su adición de puzolanas, las puzolanas son cenizas que provienen de forma natural (ceniza de volcanes) o que provienen de procesos industriales como la producción de azúcar (los residuos son la ceniza de bagazo de caña). Este tipo de cemento se puede utilizar para cualquier construcción de forma general y estudios anteriores han demostrado que a edades tardías existe una reacción puzolánica que densifica la matriz cementante de los elementos de concreto.

Tipo I (PM)

El uso de este cemento es generalizado y su producción se basa en la combinación de cemento con escoria granular y puzolanas o cemento ordinario con puzolanas; ya sea en molienda o agregándose directamente al cemento, con la característica de que la puzolana debe de tener una proporción menor que el 15% en masa.

Tipo S

Este tipo de cemento no se puede usar de manera estructural, solo para concreto pesado o de alta densidad. Está conformado por la combinación de escoria granulada y cemento portland o escoria con cal hidratada, o al combinar escoria con cal y cemento. La proporción mínima en masa para este cemento es de un 70%.

Tipo I (SM)

Los cementos modificados con escoria se usan en todos los ámbitos de la construcción en general, su proporción en masa deberá ser máximo del 25% y es producido a partir de la molienda con el Clinker, o agregándolo ya molido. (Steven H. Kosmatka, 2004)

Clasificación de los cementos en México

En cuanto a clasificación de los cementos en México son regulados por la norma NMX-C414-ONNCCE. Teniendo en cuenta a 6 tipos de cemento, además la norma mexicana clasifica al cemento de acuerdo con las adiciones que se le puedan agregar, otro aspecto que toma en consideración es su función específica. Los cementos se clasifican de la siguiente manera:

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

CPO.- Cemento Portland Ordinario; este cemento es el más básico por lo que tiene muy poca proporción de otros materiales como es el humo de sílice, escoria, puzolanas o caliza. Tienen una proporción no mayor del 5% en masa.

CPP.- Cemento Portland Puzolánico; este cemento se caracteriza por tener una considerable cantidad de puzolanas, que son cenizas de distintos procesos industriales. Dicha cantidad es de una proporción del 6 al 50% en masa de la mezcla en realización al cemento.

CPEG.- Cemento Portland con Escoria de Alto Horno; a este cemento al igual que el que se le adiciona puzolanas, a este se le agrega escoria granular de alto horno desde 6 al 50% en masa.

CPC.- Cemento Portland Compuesto; este cemento se compone de Clinker, yeso y dos o más adiciones en proporción, ya sea: caliza, material puzolánico o escoria del 6 al 35%; y en humo de sílice del 1 al 10% en masa. Sea cual sea la combinación la cantidad de Clinker que se requiere es del 50 al 94% en masa.

CPS.- Cemento Portland con Humo de Sílice; este humo proviene del resultado de la producción de silicio, este humo es de naturaleza puzolánica que solamente se mezcla con el cemento en una proporción del 1 al 10% en masa.

CEG.- Cemento con Escoria de Alto Horno; este tipo de cemento es similar al CPEG solamente que para la realización de este cemento se le agregó una proporción mayor del 61 al 80% en masa.

En cuanto a condiciones específicas que se le agregan a los cementos existen más sufijos o nomenclaturas para identificarlos, estas son resistencia a sulfatos (RS), baja reactividad álcali-agregado (BRA), bajo calor de hidratación (BCH) y blanco (B).

Por lo general cada saco de cemento se le pone en su nomenclatura de contenido el tipo de cemento según la norma mexicana, la cantidad o el número de mega pascales que pueden llegar a resistir y en dado caso alguna condición en especial. Estas resistencias van desde los 20, 30, 40 mega pascales (200, 300, 400 kg/cm² respectivamente).

Para todos y cada uno de los cementos su fraguado inicial debe ser mínimo de 45 minutos. (Steven H. Kosmatka, 2004)

2.2.5. Fraguado.

El fraguado del cemento es un fenómeno de naturaleza fisicoquímica, en el cual por medio de la hidratación del cemento con el agua, ésta última reacciona con los componentes del cemento y genera cristales que a su vez se van compactando y adquiriendo dureza. Esto hace que la pasta de cemento adquiera rigidez y cambie la pasta de un estado fluido a sólido con características resistentes. (Neville, 1999)

El cemento está constituido principalmente de cuatro componentes fundamentales en un 90%, además de un 10% de excedentes que no aportan propiedades mecánicas al cemento pero que algunos sirven como catalizadores en el proceso de fabricación del cemento y algunos otros representan un sobre costo para ser eliminados. Los principales componentes son: Silicato dicálcico, Silicato tricálcico, Aluminato tricálcico y Ferro aluminato tetracálcico, dependiendo del tipo de cemento estos materiales están en proporciones distintas y sus partículas se pueden visualizar en un microscopio a partir del Clinker. El tamaño promedio de partículas es de 15 micrómetros, por lo que en 1 kg de cemento existen aproximadamente 1600 billones de partículas de diversos tamaños, y cabe destacar que si tuvieran el tamaño promedio habría un aproximado de 300 billones de partículas de material en el cemento. Del 90 % de las partículas o componentes principales del cemento un 75% son silicatos, que al hidratarse con el agua son los que producen los cristales y son considerados como el núcleo de las mezclas de concreto o mortero, este material al hidratarse además tiene la función de que suelen adherirse a los agregados provocando una conglomeración uniforme. Es importante mencionar que el agua puede mejorar la trabajabilidad de la mezcla, sin embargo este incremento genera mayor porosidad de la misma, provocando disminución de la resistencia y durabilidad del elemento fabricado. (Steven H. Kosmatka, 2004)

El proceso de fraguado consiste en la reacción de los componentes del cemento con el agua, a lo cual se le llama “hidratación”, los componentes que primeramente reaccionan son el Aluminato tricálcico (C_3A) y el Silicato tricálcico (C_3S) que producen una reacción exotérmica de cristalización. El elemento que se cristaliza primero es el aluminato tricálcico (C_3A), por lo que al Clinker se le adiciona yeso para reducir el tiempo de fraguado conocido como “fraguado relámpago”, y así lograr que primero se hidrate y

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

fragüe el Silicato tricálcico (C_3S) que eleva la resistencia a edades tempranas y por último se genera la reacción del Silicato dicálcico (C_2S) que eleva la resistencia a edades medianamente tardías, por último es importante mencionar que el Ferro aluminato tetracálcico (C_4AF) no representa reacción importante. (Steven H. Kosmatka, 2004)

Para medir el tiempo de fraguado final de una mezcla de cemento-agua, se utiliza el equipo de Vicat y Guillmore, que consisten en agujas que penetran a la mezcla hasta su endurecimiento total, y entre mayor es este tiempo mayor será su fraguado fina. Otra manera práctica de medir el fraguado o identificar que esta pasta ya alcanzó su fraguado final es al pasar por la mezcla una corriente eléctrica midiendo la conductividad a través del agua que contiene la pasta y conforme al tiempo va disminuyendo, el agua se va evaporando hasta no haber conductividad. (Neville, 1999)

Cabe destacar que el cemento al mezclarse con agua libera calor debido a su reacción, por lo que en lugares de clima frío se incrementa el tiempo de fraguado, lo cual provoca un endurecimiento más lento y homogéneo de la mezcla; sin embargo en lugares de clima cálido se reduce el tiempo de fraguado, lo cual provoca un endurecimiento más rápido que ocasiona mayor porosidad y agrietamiento entre los agregados y la pasta, afectando la durabilidad de los elementos fabricados, ya sea de concreto o mortero. (Steven H. Kosmatka, 2004)

Fraguado falso.

Este fenómeno consiste en un endurecimiento rápido de la mezcla al estar en contacto el cemento con el agua, sin embargo esta reacción solo dura unos minutos, ya que después se continúa con un fraguado normal al no liberar calor como es el caso del “fraguado relámpago”. Una de sus principales causas es que el yeso se deshidrata al momento de que se mezcla con el Clinker en la formación del cemento portland, provocando este tipo de reacción que genera compuestos como el anhídrido. Otra posible causa para este fraguado es debido a la aireación en lugares que son muy húmedos lo que produce que el propio cemento retenga la humedad del ambiente y este comience a reaccionar. (Neville, 1999)

2.2.6. Estructura del cemento hidratado

Muchas de las propiedades mecánicas del cemento así como químicas suelen depender de la hidratación del cemento para la formación estructural de la cristalización del cemento hidratado, por lo que la forma de sus cristales puede beneficiar o condicionar las características mecánicas del elemento construido. Dicha estructura se puede identificar a nivel coloidal mediante un microscopio y así poder analizar la reacción y los productos formados. Para el estudio es necesario contar con esquirlas de la pasta hidratada y así poder realizar la prueba con el microscopio.

Al momento de la hidratación de las mezclas tienen una fase de hidratos no cristalizados que generalmente se denomina gel de hidratación, en general es hidróxido de calcio, además de espacios vacíos ocupados generalmente por agua en la pasta fresca, estos espacios son llamados como poros capilares, aunque dentro del mismo gel existen vacíos intersticiales que se les denomina poros de gel. La mayoría de las partículas de cemento son de naturaleza coloidal, cuando se hidratan tienden a aumentar de volumen de una manera extraordinaria. Una gran porción del agua es absorbida por esta superficie. En la pasta se presenta un fenómeno en el que si no hay movimiento de agua hacia la pasta, las reacciones del cemento consumen el agua, esto disminuye la humedad relativa de la pasta; dicho fenómeno se conoce como auto desecación. Este fenómeno puede variar con respecto a su relación agua/cemento en donde menos agua se le agregue al cemento, más tiende a que se produzca por lo que es conveniente hacer pruebas en las que se tendrá que buscar el volumen adecuado para que el agua cubra toda la mezcla y así poder cubrir todo el cemento y cuidando que no se exceda para que no afecte la resistencia del cemento. (Neville, 1999)

2.2.7. Volumen de los productos de hidratación.

El espacio total que disponen los productos hidratados se componen básicamente de cemento y agua agregada. Sin embargo existen fenómenos como el sangrado y la contracción de la pasta en estado plástico. Por ejemplo el silicato dicálcico y el silicato tricálcico aumentan en peso un 24% y 21% respectivamente, en cuanto el aluminato tricálcico y el ferro aluminato tetra cálcico aumentan un 40% y 37% respectivamente. El peso específico de los productos de hidratación del cemento ocupa mayor volumen que del cemento no hidratado, pero es menor que la suma del cemento seco y del agua no

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

evaporable que es aproximadamente 0.254 cm^3 del volumen último. Un valor promedio de la densidad relativa de los productos de hidratación en estados saturado es de 2.16.

Experimentalmente si se coloca al cemento el agua necesaria en un tubo de prueba sellado, la pasta tiende a disminuir de volumen, esto se debe a la capilaridad que tiene el cemento en sus poros. Sin embargo si se le pone menos agua no alcanza la hidratación total de la mezcla y la reacción química no se realizaría, faltará el agua para los poros de gel por lo que no se podrá realizar la pasta. (Neville, 1999)

Poros capilares.

En cualquier estado de hidratación los poros capilares representan parte del volumen que no forma parte de los productos de hidratación o que no han sido llenados para el producto de hidratación y representa el doble de volumen de la fase original sólida. La porosidad capilar dependen tanto de la relación agua/cemento de la mezcla como del grado de hidratación. Los poros no se ven a simple vista sino que se calculan por medio de presión de vapor y hay investigaciones que indican que su tamaño es de $1.3 \mu\text{m}$. Estudios de Glasser demostraron que el tamaño de los poros capilares son de variados tamaños, dando como mínimo de $1 \mu\text{m}$ y siendo la máxima de $100 \mu\text{m}$, y que su forma varía mucho, lo cual depende de los componentes del cemento y de la cantidad de agua agregada a la mezcla, además se ha comprobado que existe una interconexión de estos poros que ocasiona una permeabilidad en la pasta y consecuentemente esta sea vulnerable debido a la capilaridad. Para la reducción de la formación de poros interconectados en la mezcla se debe de elegir una correcta combinación de relación agua/cemento, además el curado es una técnica muy importante que ayuda a completar la reacción de cemento no hidratado, lo cual beneficia en la reducción de poros interconectados. El curado consiste en poner al concreto o mortero endurecido en contacto con agua, ya sea en inmersión completa o camas de arena en condiciones de laboratorio. Es importante cuidar este aspecto de los poros capilares porque entre menos capilares tenga, más resistente es la mezcla y por lo tanto se considera una mezcla buena. (Neville, 1999)

Poros de gel.

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

Estos poros son de mucho menor tamaño que los poros capilares, ya que se forman entre las partículas de gel y son producto del agua que se evapora y deja esos pequeños espacios huecos al salir de la pasta. Estos poros constituyen el 28% del volumen de gel considerando el material que se seca de manera habitual. Estos son muy distintos a los poros capilares ya que no dependen de la relación agua/cemento o del curado del concreto, sino que en este caso los poros se van generando debido a la reacción exotérmica generada. Al aumentar el volumen de gel, aumentan los poros de gel y al aumentar el volumen de gel, disminuyen los poros capilares en el proceso de hidratación. El volumen de los poros de gel equivale 3 veces al volumen de agua que forma la capa de una molécula de espesor, sobre la superficie total de gel.

Si el curado fue realizado con vapor a presión se genera una cristalización de la pasta y no un gel de hidratación. Esto se puede deber a las temperaturas que intervinieron en el curado que no permite que se formen las partículas de gel y directamente se producen los cristales. La superficie específica del curado del concreto depende de su composición química así como de la temperatura de curado. Se ha sugerido que las proporciones en cuanto a la masa del agua en el cemento no evaporable es a: $0.230(C_3S) + 0.320(C_2S) + 0.317(C_3A) + 0.368(C_4AF)$ donde se puede apreciar que para los últimos compuestos del cemento sus coeficientes son muy similares ya que la superficie específica de la pasta de cemento varía poco con respecto a la composición química del cemento. (Neville, 1999)

Resistencia mecánica del gel de cemento.

Hay dos teorías sobre cómo se endurece el cemento así de la generación de su resistencia. Una de ellas la propuso en 1882 H. Le Chatelier en la que dice que “debido a que los productos hidratados del cemento tienen menor solubilidad con respecto a sus componentes originales, de tal modo que los hidratos se precipitan desde una solución sobresaturada. Esta precipitación forma cristales que son de naturaleza alargada y entrelazada que contienen propiedades de coherencia y adhesión”. Por otra parte está la teoría de W. Michaëlis que establece que “los aluminatos y los hidróxidos de calcio generan la resistencia inicial. El agua saturada de cal ataca a los silicatos, lo que origina un silicato de calcio hidratado, insoluble y forma una masa gelatinosa, la misma que se endurece gradualmente, debido a la pérdida del agua producto del secado extremo de la superficie o a

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

la hidratación de los núcleos que no alcanzaban a hidratarse con lo que adquiere la cohesión”. Sin embargo se ha descubierto con el paso de los años que ambas teorías tienen algo de razón o puntos a considerar en su favor, además se ha encontrado que los componentes químicos son de naturaleza coloidal y que las partículas de cemento son micro estructurales con grandes áreas superficiales, las cuales dan propiedades distintas respecto a materiales convencionales. Se ha comprobado que el cemento portland al combinarlo con bastante agua se produce una solución sobresaturada de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dentro de las primeras horas con una parte de silicato de calcio hidratado considerable y meta estable. El cual se precipita tal y como lo mencionó Le Chatelier. El endurecimiento se debe al retiro del agua tal y como dice Michaëlis y subsecuentemente se precipita el hidrato de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Posteriormente se experimentó con la misma interrogante, que en el cemento se encuentran nano cristales que entre ellos forman conexiones como si de engranes se tratan, debido a su tamaño pueden considerarse como un gel. Si al agregarle una cantidad de agua escasa de cemento, se pueden formar cristales deformes, por lo tanto ambas teorías tanto la de Le Chatelier como la de Michaëlis es reducida a una simple terminología, ya que se trata de un gel compuesto de cristales. Otro factor importante es que la solubilidad de la sílice aumenta con el pH mayor a 10 por lo que se descubrió que el procedimiento de Michaëlis ocurre primero y consecuentemente el procedimiento de Le Chatelier. En términos generales no se puede llamar como un “gel de cemento”, con el fin de incluir el hidróxido de calcio cristalino. Por lo que el término gel aplica como la masa cohesiva de cemento hidratado en su pasta más densa, incluyendo los poros de gel, donde la porosidad característica es de un 28% aproximadamente. No se ha comprendido a ciencia cierta la causa del endurecimiento de la pasta pero posiblemente se deba a los dos enlaces cohesivos. El primero se trata de la fuerza de Van Der Waals que es la atracción física entre superficies sólidas separadas solo por pequeños poros de gel. La segunda se trata de un enlace químico, puesto que el gel de cemento es del tipo de expansión limitada, parece ser que las partículas de gel están reticuladas por fuerzas químicas. (Neville, 1999)

2.2.8. Sangrado y asentamiento.

Es un proceso en el cual en la mezcla de concreto o mortero una parte del agua que se usó en su elaboración tiende a subir a la parte superior o en la superficie de la mezcla a causa de que las partículas sólidas de mucha más densidad tienden a consolidarse en la parte inferior

de la mezcla. Es importante mencionar que los curados tienen que ser controlados ya que una mezcla que tiene demasiada agua produce un sangrado excesivo, esta tiende a que los agregados se desmoronen más fácilmente cuando la mezcla haya fraguado y por consiguiente ser de menor durabilidad. En cuanto a una mezcla pobre de agua produce un sangrado escaso y al momento de que se comience a fraguar tiende a formarse fisuras por la plasticidad y la mezcla queda en un estado “reseco” y una de sus principales defectos cuando no tiene la suficiente agua es que no se mezcla adecuadamente, por lo que no es homogénea, es difícil de mezclar y presenta excesiva porosidad. Para identificar que la mezcla tiene la cantidad de agua adecuada, esta debe de ser manejable y de sangrado estable, lo cual permite un vibrado y compactado adecuado, ya sea con vibrador mecánico o mediante varillado.

La retracción por sedimentación es un proceso en el cual el volumen de concreto endurecido suele ser menor que el volumen de la superficie colocada, esto se debe a la evaporación del agua de curado y una evaporación equivale a pérdidas en volumen. La cantidad de sangrado o exudación de la mezcla depende de varios factores como en su colocación, su compactación, además de varias cuestiones de las características de los materiales que componen a estas mezclas. (Steven H. Kosmatka, 2004)

2.2.9. Agua retenida en la pasta de cemento hidratado

Se ha mencionado en muchas ocasiones que la pasta de cemento es de naturaleza higroscópica, ya que tiene características hidrófilas y a los poros ultramicroscópicos que posee. El contenido real de agua de la pasta depende mucho del ambiente, ya que los poros capilares tienden a vaciarse en lugares o situaciones donde la humedad está en un rango menor de un 45%, sin embargo el agua es absorbida por los poros de gel en donde por muy baja que sea la humedad del ambiente queda retenida en esta pasta. Se ha determinado gracias a esto que el agua tiene ciertos grados de retención a distintas firmezas, en un extremo hay agua libre, en el otro forma parte de la reacción química o ya está químicamente combinada con los elementos que forman el cemento debido al proceso de la hidratación.

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

Existen varias fases del agua en el cemento que serán a continuación mencionadas tales como el agua adsorbida la cual consiste en una parte del agua que es retenida superficialmente en las partículas del gel y el agua zeolítica que prácticamente es retenida superficialmente en los planos de cristales. Además tenemos el agua de celosía que corresponde al agua que está asociada con la cristalización y que no se asocia con los principales constituyentes del enjarrado. No existe ninguna técnica en la determinación de cual va ser el destino del agua que se mezcla con el cemento, ni tampoco es predecible determinar qué tanta agua se utiliza para los capilares o que otra cantidad se utiliza para la formación de gel, puesto a que la energía de enlace en la combinación del hidrato es del mismo orden o magnitud que el agua absorbida, sin embargo se ha determinado que gracias a resonancias magnéticas nucleares se ha sugerido que el agua de gel posee la misma energía de enlace que algunas arcillas expansivas, por lo que el agua de gel puede estar en forma de gel entre estas capas.

Existen métodos para clasificar el agua del cemento, entre una de las más tributarias está el agua evaporable y no evaporable que básicamente se obtiene por medio del secado de la pasta del cemento hasta que tenga una masa constante, lográndose esta último aplicándole vapor a presión. Otro método de obtener la masa constante es dejar la pasta de cemento al vacío, lográndose esto sometiendo la pasta a temperaturas muy bajas hasta alrededor de 79°C bajo cero, en un espacio conectado por una trampa de humedad. Otra manera de medir el agua es determinando el agua evaporada y que esta sea evaporada a temperaturas mayores a 105°C o por congelación y remoción de solventes.

Todos estos procedimientos son muy distintos, pero tienen el objetivo común de que se obtiene la cantidad de agua retenida y la evaporable que resultan de la presión reducidas del vapor. Ésta clasificación es arbitraria puesto a que está relacionada la cantidad de agua retenida en la pasta con el agua evaporable. El agua no evaporable ya tiene los compuestos químicos del cemento en combinación pero esta parte de agua no se ligó a enlaces químicos. Esta agua tiene una presión de vapor menor que la del ambiente y además esta agua constituye gran parte de la presión del ambiente. La cantidad de agua que no se evapora aumenta gradualmente mientras el cemento se está hidratando, pero en una pasta sobresaturada nunca puede ser superior a la mitad del agua total. En cuanto a cemento bien

hidratado el agua no evaporable puede llegar a valores máximos del 18% por masa del material anhídrido, lo cual aumenta a un 23% del cemento totalmente hidratado. De la cantidad de agua no evaporable más la que se combina con la pasta al solidificarse se llega a la conclusión de que el primer volumen puede utilizarse como una medida de la cantidad de gel de cemento presente. La energía de gel se define como la manera que tiene para enlazarse el agua en una pasta de cemento, ya que por ejemplo se requiere 167J para que haga un enlace un gramo de agua no evaporable y para que haya cristalización del hidróxido de calcio es de 3560 J/g. Mediante la medición de la adsorción de microondas por la pasta de cemento endurecido se conforma que las propiedades del agua adsorbida es diferente a la del agua normal o libre. (Neville, 1999)

2.2.10. Influencia en la composición de compuestos en las propiedades del cemento.

Los dos silicatos principales de la resistencia del cemento son: el Silicato Dicálcico (C_2S) y el Silicato Tricálcico (C_3S). El C_2S es el responsable de que el cemento obtenga su resistencia a edades tempranas al orden de las primeras cuatro semanas y consecuentemente el C_3S comienza a adquirir su resistencia a las 4 semanas en adelante. Ambos componentes en su estado puro pueden llegar a una resistencia a compresión de 700 kg/cm^2 a la edad de 18 meses, sin embargo a la edad de 7 días el Silicato dicálcico no tiene resistencia alguna mientras que el otro silicato si presenta una resistencia de 420 kg/cm^2 . Se experimentó con los componentes del cemento donde se han hecho varios análisis en donde la condición óptima con la distribución de tamaños y una condición fija de agua/sólido de 0.45, se ha encontrado que el silicato dicálcico su resistencia es inferior que la del silicato tricalcico, sin embargo la resistencia de los silicatos es superior a la de los otros componentes que son aluminato tricálcico y ferro aluminato tetracálcico.

Los hidratos de calcio se presentan de manera impura por lo que estas impurezas afectan la rapidez de reacción del cemento y de la resistencia de los hidratos, la rapidez con que se hidrata el Silicato Dicálcico también es afectada por varios compuestos pero en cementos modernos donde el contenido de este silicato alcanza un 30% no hay grandes efectos.

2.3. Agregados

Los agregados pétreos son económicamente muy baratos respecto al cemento. Los agregados componen $\frac{3}{4}$ partes de la mezcla, por lo que es de suma importancia el

identificar la calidad de estos, para que no afecte la resistencia y durabilidad del concreto o mortero. Los agregados se consideran de naturaleza inerte, es decir no reaccionan químicamente, pero aportan propiedades importantes como densidad y volumen de la mezcla; sin embargo las investigaciones han demostrado que existen agregados con propiedades químicas que ocasionan reacciones con los componentes del cemento, esta reacción es conocida con el nombre de álcali-agregado. (Neville, 1999)

2.3.1. Definición

Los agregados son materiales que se utilizan en la elaboración del concreto o mortero, estos se dividen en 2 gravas y arenas. Las gravas son agregados de tamaño mayor que 5mm hasta un tamaño máximo de 2". Por otro lado están las arenas que van de tamaños desde 5mm hasta $>150\mu\text{m}$ dependiendo del reglamento de cada país con el que se realicen los concretos y los tamices con los que se clasifiquen los materiales en sus respectivas normativas.

Uno de los aspectos a considerar en el diseño de cualquier mezcla es que se llene la cantidad de vacíos, por lo que al momento en que se realiza una mezcla para colar cualquier elemento se debe de vibrar o varillar y así garantizar su poca porosidad. Sin embargo es necesario que las mezclas tengan granulometrías continuas, lo cual beneficia al acomodo de los agregados y se reduce el número de vacíos. Al reducir los vacíos se reduce considerablemente la relación agua-cemento.

Geológicamente las rocas pueden ser ígneas, metamórficas y sedimentarias, la cuales dan origen a los distintos tipos de agregados. Los minerales que componen a los agregados son en general de cuarzo, feldespatos, mica y caliza principalmente. Los agregados para uso en concretos y morteros deben de cumplir con las siguientes características de calidad: limpieza, alta dureza, alta resistencia, bajo % de desgaste, bajo % de absorción, baja cantidad de sustancias químicas, alta masa volumétrica, granulometría continua y alta rugosidad. (Steven H. Kosmatka, 2004)

2.3.2. Adherencia del agregado

La adherencia entre el agregado y el cemento dependen de la aspereza de los agregados. Por lo que a un concreto o mortero con partículas más ásperas tienden a tener mejor adherencia, lo cual se logra con un proceso de trituración de las rocas que dan origen

a los agregados. Por caso contrario hay partículas de agregados que no poseen gran adherencia debido principalmente a su forma redondeada y a su baja absorción superficial, aunque hay otros factores como la composición mineralógica y química de los agregados, además del polvo que puede estar adherido a las partículas y que no permiten la adherencia entre el agregado y el cementante. Para la determinación de la adherencia entre el cemento y agregados es necesario utilizar pruebas de tensión indirecta en elementos cilíndricos, sin embargo no existen parámetros específicos que indiquen si el elemento tiene buena o mala adherencia. (Neville, 1999)

2.3.3. Resistencia del Agregado

Es importante mencionar que no es posible determinar la resistencia a compresión simple sobre un área de los agregados, debido a sus caras irregulares y a su bajo tamaño, por lo que solo se puede determinar la resistencia puntual, sin embargo esta prueba no es totalmente confiable. Aunque existen otras formas para la determinación de su resistencia por medio de ensayos de resistencia del concreto o mortero a compresión, si el resultado es de baja resistencia respecto al diseño, se demuestra cualitativamente que los agregados tuvieron baja resistencia, y si pasa lo contrario se dice que los agregados son de buena calidad. La resistencia de los agregados depende de su microestructura, textura y composición química principalmente. (Neville, 1999)

2.3.4. Materiales potencialmente perjudiciales

Estos materiales consisten en arcillas, limos, sustancias o impurezas orgánicas, óxido de hierro, carbón mineral, etc. Estos materiales se consideran dañinos para la elaboración del concreto o mortero, ya que en gran medida son químicamente reactivos con el cemento. Las principales reacciones que ocasionan los materiales perjudiciales son el incremento de volumen de la pasta de la mezcla, la variabilidad de los tiempos de fraguado y baja resistencia del mortero o concreto. Algunos de los materiales que pueden perjudicar el funcionamiento del concreto son el carbón mineral y las fibras orgánicas de la madera, que afectan la durabilidad del concreto. Las partículas blandas o frágiles provocan erupciones y más demanda de cemento respectivamente. Las arcillas presentes en el cemento absorben el agua, afectando la resistencia al desgaste, generando grietas y reduciendo la durabilidad.

Para evitar que se produzcan los defectos anteriormente descritos se requiere de la realización de una serie de pruebas que consisten en identificar estos materiales indeseables. Por ejemplo: si a una muestra de agregados se le pone una porción de lechada de cal, la cal reaccionará con el agregado cambiando de color verde azulado para después de cierto tiempo cambie a un tono marrón, identificando así que si hay sustancias no deseadas en el concreto como lo son el óxido de hierro. (Steven H. Kosmatka, 2004)

2.3.5 .Reactividad Álcali-Agregado

Los agregados en ocasiones contienen compuestos que tienden a reaccionar con los componentes alcalinos del cemento, dichas reacciones podrían ser del tipo Álcali- Sílice o Álcali-Carbonato. Sin embargo estos fenómenos no son muy recurrentes en México debido a varios factores:

- La estabilidad de los agregados en el cemento
- Los agregados son de muy buena calidad en casi todas las regiones del país.
- La mayoría de los concretos se encuentran secos como para que se produzca algún tipo de reactividad antes mencionada.
- Algunas reacciones no producen expansión significativa.

Reacción Álcali-Sílice

La reacción Álcali-Sílice genera muchos problemas, ya que genera un aumento en la pasta de cemento, lo cual genera en el concreto una formación de grietas, juntas cerradas, desplazamiento relativo de diferentes partes de la estructura y aparición de erupciones en la superficie. Otro fenómeno que genera es el deterioro que puede ser perjudicial cuando existan casos de congelamiento y deshielo aunque las probabilidades de que fallen catastróficamente es bajo los problemas que causa es de funcionalidad.

Causas que generan la reactividad Álcali-Sílice:

- 1.- Un compuesto reactivo de sílice en el agregado
- 2.- Una solución alcalina alta entre los poros de los agregados
- 3.- Bastante humedad

Como identificar la reacción.- Ese identifica mediante exámenes petrográficos con ayuda de un microscopio óptico, esto consiste en observar un gel entre las fisuras y como constituyente perimetral de los agregados pétreos. (Steven H. Kosmatka, 2004)

Reacción Álcali-Carbonato

Este tipo de reacción es sumamente raro ya que los agregados que son susceptibles a esta reacción por lo general son materiales que pueden llegar a tener muy poca resistencia cuando se emplean en los concretos debido a que en algunas rocas sus cristales se encuentran un poco dispersos por los que en los espacios que hay en estos cristales se suelen llenar de otros materiales como arcillas que contienen materiales orgánicos sin embargo las arcillas no son las culpables de todo el problema y para que ocurra este tipo de reacción se requieren de varios factores como por ejemplo que el contenido de arcilla y material insoluble este en un rango del 5 al 25% , los cristales presentes en estas rocas para que ocurra la reacción son dolomitas que en relación con la calcita se de 1:1.

2.3.6. Beneficio de los agregados

En cuanto al beneficio de los agregados consiste en el mejoramiento de la calidad de los agregados en lo que respecta de ciertos procesos en los cuales se le deben emplear a los agregados para su empleo como tal es el caso del agregado de origen volcánico en donde se le da primeramente una tamizada para separar finos de gruesos o en donde hay agregados en donde se le da una tamizada con agua de modo que los agregados que tienden a flotar sean eliminados ya que son los que menos densidad tienen por lo que resisten menos, otro aspecto es la trituración ya que en algunos casos hay agregados que se obtienen de la naturaleza con un tamaño muy grande o están muy redondeados y para este caso se conviene mejor que los agregados sean triturados la importancia de mejorar la calidad de los agregados recae en que las mezclas deben de ser de ciertos tamaños y con algunas características adicionales tales como que tengan ciertos ángulos para que se adhieran mejor las partículas con el cemento o que los agregados sean muy densos para que las mezclas resistan más y que no contengan demasiados finos ya que pueden ser muy perjudiciales por contener varios elementos que reaccionen con el cemento. (Steven H. Kosmatka, 2004)

2.3.7. Otras fuentes de obtención de Agregados

Se ha visto que hay agregados que se obtienen de la naturaleza, materiales que se obtienen de la explotación de bancos en los que son obtenidos directamente, seleccionándolos mediante tamices, hay otros materiales que son obtenidos mediante procesos más complejos mediante la trituración de rocas, estos medios de obtención de agregados tiene varios aspectos negativos en los que a veces no es conveniente el uso de los mismos, tales aspectos consisten desde la mala calidad de los agregados hasta la alteración de los medios o ecosistemas donde se obtienen. Sin embargo hay otros tipos de agregados que ya se está implementando para minimizar el impacto ambiental, los cuales son agregado producto de trituración de concreto y agregado provenientes de proceso de dragado de los mares en las playas. Se ha demostrado que estos materiales tienen buenas características en cuanto a su uso dando buenas resistencias y mejor durabilidad. A continuación se mencionan los factores que influyen en el uso de estos agregados antes mencionados:

Agregados dragados del mar.

Para este tipo de agregado hay dos factores que alteran su caracterización y resultan perjudiciales, estos son que están cubiertos por agua salada, misma que hace corroer las varillas de acero, por lo que se debe de realizar lavado del material con agua dulce además de proporcionarle los tratamientos adecuados para reducir las cantidades de sal al mínimo y que estén en condiciones óptimas para su uso. Otro aspecto es la cantidad de conchas marinas que pueda llegar a tener el agregado, ya que estas conchas pueden producir porosidad en las mezclas y baja adherencia con la pasta, por lo que es recomendable es retirarlas.

Agregados de concreto triturado

Este tipo de agregados ha sido una tendencia en cuanto a su uso en los últimos años, ya que se han encontrado buenos resultados de resistencia y durabilidad, que básicamente son los aspectos que en los concretos y morteros se requieren. Su obtención consiste en el siguiente proceso: remover el concreto que ya perdió su funcionalidad, después se tritura de manera primaria y secundaria, se le retira el acero y otros elementos embebidos, se procede a lavarlo, cribarlo y amontonarlo separado en agregado grueso y fino. Este material no siempre es el más apto debido a su porcentaje de absorción el cual es muy alto respecto al

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

agregado común, pero está dentro de los límites permisibles, sin embargo la demanda de agua al ser mayor también genera mayor porosidad de las mezclas de concreto y mortero.

Si se elige usar este tipo de agregado triturado como sustituto del agregado natural, se recomienda realizar pruebas de reactividad Alkali-Agregado, para garantizar que no existan expansiones de la pasta debido a la antigüedad del material triturado.

2.4. Aditivos

Son adiciones que se mezclan con el concreto o mortero, y que le dan una característica especial, es decir que mejora las propiedades físico-mecánicas de la mezcla en estado fluido o en estado endurecido. Los aditivos pueden ser de origen natural o artificial, orgánico e inorgánico, etc. Y actualmente se ha incrementado su uso debido a que además de mejorar las propiedades de las mezclas, también se mejora el rendimiento de la mano de obra. (Neville, 1999)

Los aditivos dependiendo de sus características y de acuerdo a la ficha técnica se pueden colocar antes o durante la revoltura de la mezcla, es por ello que las puzolanas y escorias no se consideran aditivos como tal, ya que el cemento suele tener en su composición este tipo de materiales. Las fibras es otro material que no se consideran aditivos, ya que es un material solamente usado en concretos poco convencionales. Las puzolanas y escorias solamente se consideran aditivos si se maneja por separado del cemento y que sean en otras proporciones en adiciones y sustituciones. (Martinez Montoya, 1999)

2.4.1. Beneficios de los aditivos

Uno de los muchos factores que propician el empleo de los aditivos son las condiciones adversas del clima y de los elementos a colar. Por lo cual en muchas obras es necesario combinar más de un aditivo de características similares para mejorar la calidad de los elementos. Otro factor benéfico del uso de aditivos es el costo, ya que su uso da muchos beneficios en cuanto al ahorro de materiales y en mano de obra, aunque a veces el costo de adquisición es elevado, sin embargo al paso del tiempo se mejoran características a las mezclas y tienen poco o nulos gastos futuros en reparaciones o mantenimientos, lo que resulta una gran inversión respecto a mezclas convencionales. Es importante mencionar que los aditivos se emplean para mejorar las características de la mezcla, mas no para corregir

los defectos de la mezcla, como lo es un mal proporcionamiento, manejo y colocación de la misma. (Neville, 1999)

2.4.2. Factores a tomar en consideración para el uso de aditivos.

Los aditivos se deben de utilizar cuando se requiere mejorar o cambiar las propiedades de una mezcla como: incremento de su resistencia, mezclas más fluidas, reducción o incremento del fraguado, etc. Varios de estos factores pueden ser controlados por la experiencia y en base a la prueba y error en donde se han determinado varios métodos o procesos que conllevan a hacer mezclas con características similares, sin embargo existen factores que exigen el uso de aditivos, que no se pueden controlar como las condiciones ambientales adversas de lluvia, hielo, viento y sol principalmente.

Otro factor es el proceso de la construcción que pueden tener relevancia para las características de la mezcla en cuanto su resistencia. Como el uso de los vibradores, el ejemplo más conocido es que si se vibra más, los agregados más gruesos se tienden a poner en la parte inferior de la mezcla y los finos quedan en la parte superior lo que puede ocasionar una reducción de la resistencia por homogeneidad. Otro aspecto a considerar es que los trabajadores no permiten el uso de mezcla espesa o que sean poco trabajables ya que se retrasara su colocación y trabajabilidad.

Antes del empleo de algún aditivo se deberá considerar los siguientes aspectos:

- Identificar los o el clima predominante de la zona en donde se va a construir así como de la vida útil de la construcción en cuestión.
- Analizar previamente las cualidades de los concretos que se van a usar previamente diseñados, para deducir si es necesario el usar alguna adición, ya que en algunos casos puede ser contraproducente.
- Se tendrá que evaluar y analizar si se deben mezclar dos a más aditivos para encontrar el comportamiento deseado en dichas mezclas.
- Para el caso de nuevos aditivos se debe de evaluar su beneficio y si requiere de ciertas limitantes en cuanto a su uso para evitar los defectos importantes del comportamiento.

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

Para garantizar que el uso de un aditivo sea adecuado su comportamiento se tiene que observar estas cuestiones en las mezclas en estado fresco así como cuando ya están rígidos o endurecidos en cuanto a su fraguado. Una de las cualidades que pueden otorgar los aditivos en la mezcla fresca con:

- Aumento en la trabajabilidad, que consiste en el manejo y colocación del concreto sin reducir o aumentar su relación Agua-Cemento o reducir esta relación para obtener una resistencia similar con menor cantidad de cemento, lo que resulta económico.
- Acelerar el tiempo de fraguado, que consiste en reducir el tiempo de endurecimiento de las mezclas y pueden construirse estructuras en cuestión de horas
- Retrasar el tiempo de fraguado, que básicamente facilita el transporte de las plantas de concreto a lugares muy prolongados.
- Reducción de la segregación o sangrado, que se refiere a que pueden ser capaces de darles una mejor fuerza de adherencia entre las partes de la mezcla logrando así que las partículas más densas a la hora de vibrar la mezcla no se asienten en la parte inferior de las estructuras de concreto, mientras que las partículas que son de menor densidad viajan a la parte superior de la estructura. Este aditivo ayuda a tener mezclas más homogéneas y menos porosas.
- Un mejor acomodo de las partículas, ya que en algunos casos hay estructuras que su armado metálico es muy estrecho o tiene poca separación entre una barra y otra lo que puede dificultar su colocación y con los aditivos esto se puede resolver.
- En cuanto a su colocación final, en ocasiones es difícil llevarla a lugares difíciles, por lo que se opta por los bombeos que requieren de cierta energía para transportar por un ducto la mezcla hasta su lugar de colocación, que puede ser en sitios que tienen gran altura o se encuentran en lugares de difícil acceso lo que se hace es un bombeo pero con los aditivos fluidificantes se puede lograr.
- Hay aditivos que lo producen un pequeño cambio en su volumen con respecto a la temperatura y evitan el agrietamiento del cemento por contracción o dilatación.

Para la mezcla ya endurecida se pueden destacar los distintos aspectos benéficos en cuanto a sus propiedades:

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

- Un aumento en cuanto a sus propiedades Físico-Mecánicas.
- Aumento o disminución en cuanto a su resistencia a edades tempranas dependiendo del aditivo así como del tipo de cemento.
- Aumento en la durabilidad, en mezclas expuestas a cambios bruscos de temperatura o construcciones en zonas con atmósfera marina, que pueden ocasionar corrosión de la armadura.
- Reduce el cambio de temperatura o energía térmica que produce el cemento cuando este se está hidratando al igual en cuanto ya está adquiriendo algo de rigidez. En pocas palabras hay aditivos que pueden moderar el calor por la hidratación y endurecimiento a edades tempranas.
- Adquieren más cualidades de durabilidad que básicamente de las pruebas que evalúan este comportamiento son las de ataques por sulfatos en las que adquieren un buen comportamiento.
- Suelen además de ganar más comportamiento a los impactos o abrasión, esto nos puede beneficiar un poco para que no tienda a desgastarse o a fracturar cuando se pone en contacto con materiales de la misma naturaleza o que pueden ser más duros.
- Tiene más control en contacto a la reacción álcalis en algunos agregados que pueden presentar este factor.
- Una mejor adherencia entre las mezclas en las que ya están colocadas y funcionando y una nueva que se desea aplicar.
- Una mejor adherencia entre la mezcla y el acero de refuerzo tratándose de estructuras de concreto armado o reforzado
- Disminuye la permeabilidad de la mezcla, ya que hay una mezcla más densa y con menos poros que pueden ser causados por un exceso de agua.
- Pueden disminuir la corrosión del acero o los metales inmersos en la mezcla o en el mejor de los casos que no tengan este fenómeno y una mejor durabilidad de las estructuras.
- Producción de mezclas que no conlleven el uso de los agregados “concreto celular”.

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

Para el uso de aditivos recapitulando se deberán de considerar estas condiciones para su empleo:

1. Que no produzcan efectos secundarios importantes en cuanto a la funcionalidad del cemento o de la mezcla en sí.
2. Que haya algún beneficio económico en su empleo
3. Llegar al efecto en la mezcla que se espera sin alterar la dosis básica. (Martinez Montoya, 1999)

2.4.3. Aspectos económicos para el uso de Aditivos.

Algunos de los aspectos a considerar para el uso de los aditivos es su impacto económico que pueden generar, ya que uno de los propósitos de los aditivos es el de mejorar las cualidades de la mezcla, de tal modo que se pueden usar materiales básicos de la mezcla en menor proporción. Entre las principales consecuencias en cuanto al uso de aditivos en lo económico es: reducir el costo del concreto, obtener las cualidades de la mezcla requeridas por métodos más versátiles, garantizar una calidad del concreto y para solucionar algunas situaciones que involucren la colocación de la mezcla en el colado.

Cuando se elija un aditivo se debe de evaluar si es factible su uso, porque al poner alguna adición a la mezcla se generan cambios y al dosificar de manera incorrecta se pueden generar efectos contrarios a los esperados y resulta contraproducente. Otro aspecto es el del aumento de volumen de la mezcla al agregarle el aditivo, ya que también aumentan las proporciones del cemento.

Un factor más en el uso de los aditivos sería que requieren un costo adicional respecto a una mezcla tradicional. Es por ello que los que lo aplican son los productores de concreto a gran escala (concretaras), ya que su aplicación requiere de gente capacitada para su empleo en aditivos. En algunos casos el empleo de los aditivos puede justificar el costo de su misma adición con su empleo y el aumento de sus cualidades que contengan. (Martinez Montoya, 1999)

2.4.4. Tipos de aditivos

Un aditivo se define como un producto químico o natural, que se le agrega a las mezclas en un máximo de 5% de la masa del cemento en el proceso de mezclado, con el fin de elaborar mezclas con mejores características tanto para su trabajabilidad como para sus características resultantes finales.

Los aditivos se clasifican en su función en el concreto de acuerdo a la norma C 494-92, sin embargo hay aditivos en los que se les atribuye más de una función:

- Tipo A Reductores de agua
- Tipo B Retardantes
- Tipo C Acelerantes
- Tipo D Reductores de agua y Retardantes
- Tipo E reductores de agua y acelerantes
- Tipo F Reductores de agua de alto rango o súper fluidificantes
- Tipo G Reductores de agua de alto rango y retardantes, o súper fluidificantes y retardantes

Los aditivos para su uso se comercializan como productos patentados, aunque en sus instrucciones nos puede marcar otros atributos o efectos adicionales en su empleo, tales efectos suelen ser ciertos, pero a consecuencia de otros factores que influyen en la mezcla.

El concreto tiene que ser trabajable, de fácil acabado y resistente al desgaste; cada una de estas cualidades deben de ser una prioridad, ya que son aspectos a tomar en consideración por el simple hecho de que resultará más rápido el hacer un elemento de concreto de cualquier tipo, si se considera que en una obra se requiera que el concreto o mortero tenga ciertas propiedades como el reducir el tiempo de fraguado o que se aumente este tiempo, se requerirá el uso de aditivos. Sin embargo se puede hacer cementos que tengan ciertas características, aunque para que una cementera tenga que hacer de un tipo de cemento se requiere de habilitar las instalaciones de las cementeras en cuestión. Para esto es el uso de aditivos, el adicionarle más elementos en su mezcla para que esta tenga características especiales.

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

De acuerdo con las cualidades que suelen ganar las mezclas de cemento nunca se considera como un sustituto o reemplazarlo por uno de los elementos más primordiales para la mezcla. La eficiencia de un aditivo depende de varios factores: tiempo de mezclado, temperatura de la mezcla; contenido de agua; granulometría y proporción de los agregados; tipo, marca, y cantidad de cemento. Un aspecto muy fundamental en el uso de aditivos es que se deben de comparar con mezclas convencionales para garantizar que efectivamente mejoró sus características. Para realizar comparaciones se requiere que las mezclas tengan condiciones similares; Por ejemplo: tiene que ser la misma temperatura para el mezclado, la misma época del año, que las mezclas sean elaboradas por la misma persona, el mismo día y de ser posible a la misma hora. Todo esto con la finalidad de mantener las mismas condiciones y así comprobar su efectividad. Es importante destacar que todos los aditivos en el mercado cuentan con una ficha técnica, que indican el porcentaje de adición y los cambios que proporcionará a la mezcla (fluidez, resistencia, durabilidad, etc). (Steven H. Kosmatka, 2004)

Los aditivos están de forma sólida o líquida siendo esta última la de más uso, ya que un líquido se dispersa fácilmente por toda la mezcla y los aditivos que son sólidos se requiere de mezclar en más tiempo para distribuirlo de manera uniforme. Para dosificar el aditivo se requiere de recipientes debidamente calibrados con el fin de garantizar su empleo adecuado, ya que si se excede su empleo podrá afectar otras características como de resistencia y durabilidad de la mezcla. De la misma manera si se le agrega muy poco aditivo puede que no se logren los efectos que se necesitan en la mezcla, por lo que es importante tomar las medidas adecuadas en su empleo y buen uso. Cabe destacar que hay otro tipo de aditivos en los cuales se debe de tener cierta precaución en cuanto a su manejo como es el caso de los súper fluidificantes, que deberán estar sujetos a condiciones especiales para su aplicación por mencionar algún ejemplo.

En cuanto a su administración en la mezcla es conveniente especificar su empleo, que por lo general se usa en proporción de la masa del cemento en la mezcla, aunque todo está en las circunstancias para lo que se deben de usar. La efectividad de los aditivos varía de acuerdo a su dosificación con la mezcla. Los aditivos líquidos se deben de incluir en la cantidad de agua total de la mezcla.

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

El efecto de los aditivos suelen ser afectado por la variación de la temperatura que suele reaccionar con las temperaturas altas, por lo que es recomendable estudiar los efectos de los aditivos en temperaturas extremas antes de su empleo.

Otro aspecto es el manejo adecuado de los aditivos, ya que pueden afectar el cuerpo humano si es ingerido, además pueden ocasionar reacciones adversas en la piel y los ojos principalmente. (Neville, 1999)

Aditivos acelerantes.

Están clasificados como tipo C de acuerdo a la norma de la ASTM. Su función principal es la de reducir el tiempo de fraguado de las mezclas, además de aumentar la resistencia temprana de las mismas y su resistencia máxima se logra en menor tiempo, mientras que en mezclas convencionales suelen alcanzar su resistencia máxima a los 28 días. Estos acelerantes son mayormente usados en situaciones donde la temperatura del ambiente resulta ser baja, tales temperaturas de 2 a 4 °C precisamente en lugares como las plantas de concreto que es donde más se aplican los aditivos. (Neville, 1999)

El uso principal de estos aditivos es la reducción del tiempo de fraguado inicial y final, por lo que se incrementa la velocidad de colados de elementos de concreto, la descimbra de las estructuras en un menor tiempo, es un buen sellador de las juntas como para la construcción de una presa, o para los concretos que son lanzados en el revestimientos de túneles. También es usado en la reducción de los curados del concreto así como en la protección en contra de las heladas del mismo y que no se fracture por congelamiento y deshielo (Martínez Montoya, 1999)

Uno de los defectos de los acelerantes es que en donde hay temperaturas muy elevadas se aumenta el calor de hidratación y por consiguiente la mezcla sufre de agrietamientos por contracción. Este aditivo suele usarse en lugares fríos pero no se garantiza que los aditivos acelerantes sufran congelamiento lo cual sucede en lugares donde la temperatura es de 2° o menor, para estos casos se deberá hacer estudios de los aditivos con el motivo de ver esta cuestión del congelamiento, para este caso se está implementando el uso de los anticongelantes, sin embargo este método todavía no está probándose.

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

Uno de los acelerantes más usados es el cloruro de calcio, debido a que es un acelerante muy bueno, en cuanto a la hidratación de los silicatos de calcio, además de un posible cambio de la alcalinidad de los poros o un catalizador en las reacciones de hidratación. Pero existe un riesgo muy alto en usar este aditivo en estructuras de concreto con acero de refuerzo, debido a que como es un cloruro, estos son los que producen principalmente la corrosión del acero y hace que se inutilice las estructuras debido a este problema, ya que una vez que el acero comience a corroerse tiende a expandirse y por consiguiente el concreto comienza a desprenderse. Se ha determinado que el cloruro de calcio CaCl_2 reduce el riesgo por congelación en los primeros días de su colocación, pero en congelamiento y deshielo se reduce su resistencia en tiempo posteriores.

Trietalomina se puede considerar otro aditivo acelerante, pero es muy sensible en la dosificación y la composición del cemento. Por lo que no es muy usada debido a que solo se considera en cuanto a la compensación de los reductores de agua en cuanto a la acción retardante que algunos retardantes producen.

El funcionamiento de los acelerantes es incierto y la resistencia a tempranas edades dependerá del aditivo en cuestión que se desea emplear, así como del tipo de cemento que se usa en la mezcla y además por razones de comercialización no existe la etiqueta de % de materiales integradores. La resistencia a la compresión deberá ser de un 125% mayor que la mezcla testigo a los 3 días y es permitido que la resistencia a una edad de 28 días puede ser menor que la resistencia de la muestra testigo.

En las mezclas prefabricadas manejan baja relación agua/cemento para garantizar la calidad del concreto en cuanto a resistencia o revenimiento, esto puede ser un factor para modificar los tiempos de fraguado, ya que a la mezcla no se le agrega demasiada agua debido a los estándares del diseño. (Neville, 1999)

Aditivos reductores de agua.

El agua en las mezclas funciona de la siguiente manera: un 50% es usada como lubricación de la mezcla en sí, la otra parte es usada para la hidratación del cemento, por lo cual se puede afectar la contracción, durabilidad, y resistencia del concreto. Un reductor de agua nos sirve para disminuir la relación agua/cemento en un 5% como mínimo en su

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

consistencia. Un efecto del cemento es que es un floculante que al momento de estar en contacto con el agua este tiende a unirse con otras partículas de cemento hasta formar una masa. En este proceso se queda una parte de agua atrapada entre la masa de cemento que ocasionan la porosidad una vez evaporada. Este tipo de aditivos liberan una gran parte de esta agua retenida en la masa de cemento provocando una matriz de mezcla más densa.

La manera de actuar de este aditivo es que para su composición química reduce la fuerza de atracción entre las partículas de cemento que se mezclan con el agua, lo que ocasiona un aumento en la fluidez, aumentando así su manejo, sin aumentar la relación agua/cemento o mantener la misma trabajabilidad reduciendo esta relación. Estos aditivos por lo regular vienen de manera líquida componiéndose de ácidos lignosulfónicos y carboxilos hidroxilados, y las sales de ambos que permiten una reducción del agua en la mezcla desde un 5% hasta un 10% y su principales usos en la reducción de la relación agua/cemento, lo cual incrementa la resistencia del cemento respecto a las mezclas convencionales, además de un aumento del revenimiento de la mezcla para colar elementos muy esbeltos o que contienen muchas armaduras, aumento en la cohesión misma de la mezcla evitando así la segregación y sangrado. Para fines más prácticos este aditivo es ideal para ser usado en casos donde los agregados sean muy angulados proporcionando un mejor acomodo de las partículas.

Algo a tomar en consideración para su aplicación es que las mezclas adquieran una rigidez después o al instante de haberse mezclado, lo que da como consecuencia una pérdida de revenimiento. Lo que se debe a la incompatibilidad que puede haber entre el anhídrido y el aluminato tricalcico en algunos tipos de cemento. Estos aditivos en algunas presentaciones contienen aire que en algunos casos suele ser ventajoso al momento de hacer mezclas que se deben de agregar independientemente.

Se debe de tener un cuidado a la hora de aplicar este aditivo, ya que al poner una sobredosis es posible que la misma mezcla sea retardada en su fraguado o en el caso más extremo que nunca llega a fraguar la mezcla y provoca un lavado de sus partículas. (Martínez Montoya, 1999)

Aditivos retardantes del fraguado.

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

Estos aditivos tienen la función de retrasar el fraguado inicial sin que sea modificado el contenido de agua en la mezcla de tal modo que la mezcla resulte más manejable a la hora de su aplicación. Estos aditivos vienen en forma líquida y la mayoría están compuestos de sustancias orgánicas; ácido lignosulfónico y sus sales (que su aplicación también puede abarcar otras cualidades como la reducción de agua e inclusión de aire); ácido hidrocarboxílico con sus sales (este material además puede reducir la cantidad de agua óptima de la mezcla); carbohidratos ($C_n (H_2O)_m$) todos aquellos que pueden provenir directamente de la naturaleza.

Además de que existen aditivos retardantes del fraguado que no necesariamente tienen que ser de origen orgánico como los que son a base de glicerina, óxidos de plomo y zinc, sales de magnesio, ácidos fosfórico y fluorhídrico, lignina y ácido tartárico. También hay sustancias que pueden servir para este fin sin embargo sus reacciones pueden ser muy espontáneas o son temperamentales como los compuestos en base boro, el bicarbonato de sodio y algunos fosfatos.

Estos aditivos son muy efectivos en cementos que tienen alto contenido de aluminato tricálcico porque una vez hidratado, ya que no puede absorber el aditivo. Por lo tanto se agregan estos para que hidraten los silicatos, lo que ocurre con una impregnación en los núcleos de hidróxido de calcio.

Los usos más comunes de los aditivos retardantes es para controlar el fraguado del cemento y no afectar las resistencias inmediatas, otro uso consiste en contrarrestar los efectos de las altas temperaturas en lugares donde los climas son cálidos, así como mantener un cierto grado de trabajabilidad de las mezclas en lugares donde las temperaturas pueden llegar a los 50°C, cuando el uso o recomendación de la colocación de las mezclas llegue a las temperaturas máximas desde 30°C y 40°C. Además del empleo de estos aditivos favorece el transporte de las mezclas desde las plantas donde se elabora hasta obras que se encuentran a grandes distancias, así como su bombeo o acarreo. Evitar la formación de juntas frías a la hora de traslapar un concreto nuevo con uno viejo y la aplicación de grandes volúmenes de concreto en colados continuos, así como en situaciones donde se tiene que colar de forma lenta y muy controlada, otra aplicación es para evitar las grietas que son ocasionadas por las deflexiones que pueden llegar a tener las cimbras reduciendo la

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

aparición de fisuras, haciendo así que el calor de la hidratación se disperse más, retardando el fraguado inicial de las mezclas, lo que favorece a la colocación para estructuras que requieren de un colado muy especializado o elementos que tienen grandes dimensiones como pilas y cimientos, la cimentación de pozos petroleros o el bombeo de mezclas a distancias considerables. También el retraso del fraguado con adiciones puede usarse en aquellos casos donde a las construcciones se le quiere dar un aspecto arquitectónico como es el caso de las partes de mezcla donde se requiera un acabado de agregado expuesto el cual se aplica el aditivo en la cimbra para obtener un fraguado adyacente y al retirar la cimbra se cepillara este elemento quedando el agregado expuesto.

Para su aplicación se debe considerar que hay distintos factores que son extremos a los efectos del mismo aditivo tales como la temperatura del ambiente, el tipo de cemento, la elaboración de la adición y la cantidad del aditivo, así como de la colocación del aditivo en el momento de elaborar la mezcla.

Los retardantes más usados son los azúcares así como sus derivaciones, sin embargo se debe de tener cierta precaución en su aplicación, ya que es un retardador muy potente, tanto que si se llegara a usar en exceso el concreto no fraguaría. Los retardantes deben de colocarse de tal modo que estén distribuidos uniformemente en toda la mezcla, ya que se tiene que evitar la concentración de la adición en la mezcla, lo cual provocaría la formación de cúmulos o bolsas plásticas que fraguaran en la mezcla de manera irregular. Los retardantes pueden ser útiles al momento de incluir aire en la mezcla lo que puede provocar cierta reducción a edades tempranas, incrementando la contracción por secado además de que prolongan el fraguado por sobredosificación. (Martinez Montoya, 1999)

Aditivos reductores de agua y Retardantes.

Estos aditivos son más comunes que los retardantes simples debido a que muchos de los aditivos retardantes del fraguado pueden tener como efectos secundarios la reducción del agua para el mezclado. Por lo tanto estos aditivos tienen la propiedad de retardar el fraguado así como reducir la cantidad de agua un 5% mínimo, lo cual incrementa la resistencia de dicha mezcla en los primeros días. Estos aditivos son líquidos que pueden ser ácido lignosulfónico o hidroxil-carboxílico, combinado con otras sustancias que ayudan al retraso del fraguado del cemento. Estos aditivos además del retraso del fraguado reducen la

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

cantidad de agua entre el 5% y 15% aumentando así la resistencia de las mezclas. Estos aditivos tienen varias aplicaciones en las que son muy útiles tales como los colados masivos como es el caso de muelles para buques tanque; para el bombeo de concreto, reduciendo la presión y mantener a temperaturas mínimas la bomba evitando que se caliente; cimbras deslizantes verticales en la construcción de silos de concreto.

En cuanto a su uso o su modo de aplicación se requieren cantidades muy pequeñas en cuanto a su adicción, como un máximo del 0.3% en peso del cemento, se deberán proporcionar en la mezcla por medio de dosificadores que sean muy confiables y que estén calibrados. Como todos los aditivos se deben de tomar en cuenta además del uso, del tipo de cemento a usar así como de las condiciones de la obra para deducir si su uso le da un cumplimiento en sus expectativas, el diseño de la mezcla también tiene que verse este factor.

Aditivos reductores de agua y acelerantes.

Este tipo de aditivos tienen la ventaja de reducir el agua al momento de acelerar el fraguado o desarrollar más rápido la resistencia del cemento. Una disminución en la cantidad de agua en un 5% en cuanto a consistencia. Se componen generalmente de sustancias en las que su dosificación debe fluctuar entre 1% y 3% agregándose directamente a el agua, más nunca al cemento. Componiéndose de ácidos carboxílico hidroxilado, ácidos lignosulfónicos, así como las sales de ambos combinadas con acelerantes. Sus aplicaciones se destacan en aquellas ocasiones en las que la mezcla requiera fraguado rápido y posteriormente que gane resistencia a edades muy tempranas, reduciendo así su relación agua/cemento e incrementando la velocidad de construcción en obras importantes como lo son caminos y puertos. (Martinez Montoya, 1999)

2.5. Preparación del mucilago

Definición de Maralfalfa

La maralfalfa (*Pennisetum purpureum*) es un pasto que fue modificado genéticamente en Colombia. Aunque su origen es incierto, sin embargo se le considera un pasto híbrido que su uso se basa más que nada en el forraje debido al alto rendimiento que esta planta posee en cuanto a su tamaño y cantidad de material. Este material en comparación con el maíz

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

tiene una planta similar a esta pero a diferencia es que el maíz aporta lo que es el cereal o semilla para su posterior siembra, en cuanto a la maralfalfa se considera que es un pasto, no se le obtiene ninguna semilla, pero lo que proporciona el forraje es la planta en sí, la cual se muele y se usa para alimento del ganado, proporcionando muchos nutrientes a estos, y a diferencia del maíz se recorta y vuelve a crecer mientras que el maíz se tiene que cortar, arar la tierra y volver a sembrar para que vuelva a crecer. Esta planta además de que crece como el maíz, hay más producción de la planta que el propio maíz, ya que su modo de crecer es de una manera más burda sobre grandes extensiones de hectáreas. Se siembra de dos maneras: la primera es a base de una semilla que se siembra directamente sobre la tierra y esta crece; y la otra manera de producción de la maralfalfa es a través de la colocación de los tallos directamente en la tierra, de modo que estos queden enterrados longitudinalmente a modo de que en cada uno de los nudos crece una planta y se van expandiendo. (De la Fuente Moreno, 2012)

Historia y Origen de la Maralfalfa.

La maralfalfa tiene sus orígenes en Sudamérica aunque es muy incierto de donde se produjo por primera vez, muchos aseguran que se dio de una combinación que hizo un sacerdote Jesuita llamado José Bernal Retrepo en 1979, en donde combinó varias plantas en las que se destacan el pasto elefante, el gramalote, la alfalfa peruana y el pasto brasileiro, donde uso el Sistema Químico Biológico para hacer una planta híbrida. Otros consideran que se origina en Brasil donde se comercializaba como “Elefante paraíso matsuda” donde se usaba la hibridación de *Pennisetum americanum* combinándolo con Colchicina, ya que la planta anterior era estéril por lo que se le agrego esta última para aumentar los cromosomas encargados de la reproducción. (De la Fuente Moreno, 2012)

Características de la planta.

La flor que tiene es similar a la del trigo solamente que ésta no se le debe de dar a los animales, que está en forma de panícula que son muy características de esta especie de plantas. Las panículas presentan ramas primarias que se reducen a fascículos espinosos, con una o más espigas que terminan en espinas. Las raíces son fibrosas que forman adventicias que surgen de los nudos inferiores de la caña, las cañas conforman el tallo superficial que se compone de entrenudos que se delimitan por nudos, por estos nudos es por donde nacen

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

o renacen del mismo tallo las plantas en la siguiente temporada. En las cañas además de que tiene los nudos en estos le sale un recubrimiento a modo de vaina la cual se encarga de recubrir la hoja que es una característica de estas plantas. En estas mismas hojas además cuentan en la parte superficial con pelos a los cuales estos al estar en contacto con la piel pueden irritarla. (De la Fuente Moreno, 2012)

Características de su siembro.

Para su siembra esta planta debe de hacerse en suelos fértiles o medio fértil, que contengan materia orgánica, buen drenaje donde para su plantío debe hacerse en clima o temporada relativamente seca, puede producirse en altitudes de 0 a 3000 donde la planta alcanza una altura promedio de 2.5 m y la máxima altura puede ser hasta de 4m. Se requieren de 4 a 5 toneladas de semilla por hectárea. Además también se pueden sembrar estacas de tres a cuatro nudos que se deberán plantar a una profundidad de diez centímetros y en surcos distanciados de 40 cm. Se requieren de 250 kg de fertilizantes dependiendo del tipo de suelo y de las propiedades que contienen estos es para el proporciona miento en cuanto a nitrógeno, potasio y fosforo. Los abonos deben de ser orgánicos. (De la Fuente Moreno, 2012)

Rendimiento.

La producción de la maralfalfa se puede hacer de la siguiente manera: en los primeros 90 días de haberse plantado, la semilla de la maralfalfa ya está apta para su obtención y posterior siembra, para lo cual se debe de cuidar que el corte sea de manera homogénea debido a la floración precoz, disminuyendo la calidad nutricional de las mismas disminuyendo así su rendimiento. Se han hecho pruebas del rendimiento del forraje para distintos tamaños de la planta donde para una altura de 1 a 3 cm se produjo una cantidad de 4.47 ton, mientras que para una altura de 30 a 40 cm se producen 11.9 toneladas y para una altura de la planta de 80cm se produjeron 13.12 toneladas, se han hecho reportes de rendimientos en cuanto a forraje verde donde se pueden producir 200 a 400 toneladas de forraje verde entre los 40 y 110 días de corte. (De la Fuente Moreno, 2012) Para hacer una comparación se usó la producción de forraje del maíz en donde para la producción en temporal se ha hecho una producción de 20 toneladas aproximadamente pero esto depende de que el maíz se requiere de mucha preparación para su siembra como es la arada, surcada

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

y siembra que es lo mínimo que se tiene que hacer cada temporal, además de que se tiene que esperar a que haya agua o mucha agua para hacer crecer las plantas de maíz, sin mencionar que no debe de haber trombas o granizadas para que se logre este maíz. Sin embargo se ha comprobado que para el maíz que se siembra de riego lo que pasa en cuanto a su producción aumenta hasta las 40 toneladas que es lo mínimo que se obtiene con la maralfalfa en las condiciones óptimas. (Jurado Guerra, Lara Macias, & Saucedo Terán, 2013)



Figura 1 Plantío de maralfalfa. Por Luis Alberto González

Preparación del Mucilago.

Para la preparación del mucilago primero se seleccionaron las plantas, para lo cual deberán ser de los ejemplares más grandes, para este caso todas las plantas se encuentran en excelentes condiciones, se cortaron con el uso de una oz, cortándola desde la base de la planta. Cabe destacar que la planta se encontraba en la etapa madura en cuanto a su ciclo vegetativo, una vez cortadas se colocaron en una superficie donde les dé directamente la luz del sol, para que de este modo se vayan secando. Esta planta adquiere un color amarillento y al tiempo de que ocurre esto las plantas van perdiendo su masa (agua que se va evaporando) y una de las razones por lo que las plantas se deben de poner a secar es porque la planta adquiere la mayor parte de los carbohidratos en estado seco, por lo que para esta experimentación se usaron las plantas totalmente secas en la producción de mucilago.

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO



Figura 2 Maralfalfa puesta al sol para secar. Por Luis Alberto González

En cuanto a la elaboración del mucilago se empleó una relación de planta con el agua de 1 a 8 respectivamente en peso, por lo que se usaron 250g de planta en estado seco para 2kg de agua. Se usó esta relación al ser la que cubría de agua a la maralfalfa, esta se puso al fuego de modo que el agua alcance su punto de ebullición, dejándola en ebullición durante 10 minutos para después dejarla enfriar a temperatura ambiente, una vez que bajó su temperatura se exprimió cada hoja y el tallo para que tuviera más de estos elementos que son los que contienen los carbohidratos, obteniéndose un líquido color café con un olor dulce, lo cual es un indicativo directo de que contiene azúcares.



Figura 3 Agua resultante del mucilago. Por Luis Alberto González

Cabe destacar que esta agua se usó enseguida de obtenerse de la planta, ya que si se esperaba más tiempo sin usar esta comenzaba a fermentarse, y se le formaba una nata con un olor a alcohol, lo que es muy característico de los carbohidratos que es su siguiente fase. Además en este estado se le tomo medida del pH para saber qué tipo de compuesto resultaba, si ácido o alcalino.

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

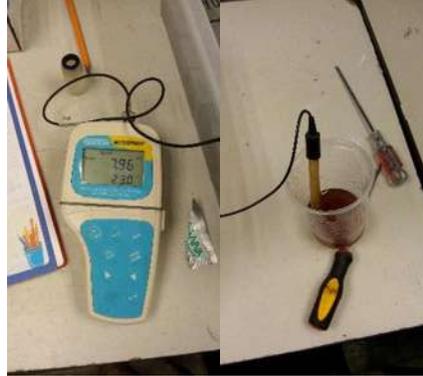


Figura 4 Determinación del pH del Mucilago por el medidor digital. Por Luis Alberto González



Figura 5 Determinación del pH por medio de las tiras de papel. Por Luis Alberto González

Cabe destacar que medir el pH con las tiras de papel fue más rápido, ya que con el aparato fue más tardado, sin embargo los resultados más exactos se tuvieron con el aparato, aunque fueron muy similares.

En cuanto a la cantidad de agua que resulta para la cantidad antes mencionada se obtenía aproximadamente un litro y medio de agua, la cual se iba utilizando para las pruebas posteriores de manera adecuada para que ésta se administrara como parte del mortero.

2.6. Morteros

2.6.1. Definición.

Es un material empleado en la construcción como material adherente, ya que por su elaboración lo convierten en un material muy versátil y de los más usados por los trabajadores de la construcción en el país, además de que la mayoría de las viviendas son construidas a base de mampuestos y de acuerdo de la habilidad de los trabajadores. Este material se conforma de tres elementos principalmente: cementante que puede ser cal o

cemento portland, agregado pétreo fino que puede ser arena volcánica, triturada, de río, etc., y agua potable que garantice la trabajabilidad de la mezcla.

2.6.2. Historia de los morteros.

El uso de los morteros data desde la época prehistórica en donde los cavernarios usaban las rocas calizas para la preparación de los alimentos al fuego, estas rocas se calentaban y después se enfriaban debido a la lluvia hasta convertirse en polvo, este polvo tenía propiedades aglutinantes y ligantes respecto a otros materiales sólidos. En donde una de las primeras aplicaciones que se le daba a esta cal fue como tinte en pinturas hechas en cuevas. En Turquía en la villa neolítica de Catal Hoyok usaban yeso como un recubrimiento de suelos, como tinte para pinturas y para el moldeado de animales. El primer empleo de que se tiene registro es en las antiguas civilizaciones como la de Mesopotamia, es en la máscara de Jericó, una calavera con un emplasto de cal pulido del año 7000 a.C. También se han encontrado construcciones en las cuales se han hecho descubrimientos de viviendas construidas de ladrillo y suelos de mortero de cal con la superficie pulida, de los cuales se tienen vestigios de que son combinados con materiales orgánicos como granos de cereales de los cuales han servido para determinar su respectiva edad mediante la técnica del carbono 14. Los egipcios fueron los primeros en usar la cal como mamposteo para lo cual fue usada en la construcción de la pirámide de Keops por lo cual en Egipto se logró un gran desarrollo en la preparación y aplicaciones del yeso como mortero. Los griegos y romanos tuvieron un gran auge en cuanto al uso de la cal como mortero debido a que ambas civilizaciones tenían muchos conocimientos en cuanto al uso de estos que datan de épocas muy remotas pero su uso para la construcción de muros fue a partir del siglo I después de cristo. Ya que sus anteriores construcciones eran a partir de morteros hechos con simple arcilla y tierra. Los romanos fueron los descendientes de los griegos en cuanto a la construcción con el mortero o las técnicas de construcción, para las que hicieron el uso de la cal como aglutinante para construir el coliseo y el panteón Romano. Además de la realización de importantes redes de acueductos como el de Cesárea aplicando distintas capas para favorecer el endurecimiento de las paredes además de que también adquirieron la enseñanza de los propios griegos para agregarle materiales, y así mejorar sus propiedades de durabilidad y reducir sus propiedades de absorción de agua. En la época medieval se considera como una época de transición en el uso o en avances en cuanto a los morteros de

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

cualquier tipo hasta el momento de la caída del imperio Romano, no se dio un avance significativo y sus construcciones fueron de menor calidad, ya que se iban perdiendo las técnicas de elaboración, aunque también pudo haber sido causa las constantes invasiones del imperio. Construyendo edificios muy frágiles, así que los constructores medievales seguían el procedimiento de los romanos para el empleo del mortero, pero sin una dosificación fija de la cantidad a emplear de los materiales. Ya hasta el final de la edad media hubo un avance en cuanto al empleo de las mamposterías, usando lo que son rocas para la construcción de las viviendas, ya que este material estaba reservado en cuanto la construcción en usos militares y religiosos, donde antes construían las viviendas de modo que eran de materiales muy inflamables por lo que cuando había fuego resultaba en catástrofes considerables. No fue sino hasta el siglo XVIII donde se inicia la fabricación de materiales aglutinantes o ligantes donde se basaron en los experimentos de los romanos para la mezcla de varias cenizas con cal y yeso para darle mayores cualidades, donde después se hizo el descubrimiento de los materiales ligantes hasta el año de 1756 por Smeaton al construir el faro esto se remonta a los usos del cemento como lo conocemos hoy en día. (Alvarez Galindo, Marín Perez, & García Casado)

2.6.3. Usos.

El uso de los morteros es principalmente como ligante o adhesivo para las mamposterías, de los uso más comunes son: la unión de materiales como tabiques o ladrillos, blocks, tabicones, entre otros elementos que son prefabricados además de rocas naturales como son las piedras brazas o las rocas artificiales como las canteras. Además del uso en cimientos de mampostería o como coloquialmente le llaman los albañiles “renchidos” para esto se usan lo que son las piedras brazas o basaltos, por su alta resistencia a la compresión y también son y fueron usadas en la construcción de muros para templos que soportan cortantes por su dimensionamiento. Otro tipo de rocas usadas para mamposteo con el mortero son las canteras debido a su color y apariencia, ya que al ser materiales estéticos se usan en acabados y muros, aunque también fueron la materia prima en la construcción de las ciudades coloniales del país como es el caso de Morelia que es una ciudad patrimonio de la humanidad. El caso más conocido para el uso del mortero como material adherente es para la mampostería en tabiques, ya sea artesanales o elaborados en. Además de que el mortero puede usarse para adherir elementos prefabricados de concreto como tabicones y blocks

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

que son elementos que su empleo es para estructuras de las cuales soportan grandes cargas y el mortero es de uso primordial para la unión de estos. Otro uso que se le dan a los morteros es para darle acabados a los muros, ya sea rugoso o fino. Además se tienen los morteros que sirven para relleno de los espacios que hay entre las partes de los mampuestos como en los extremos de los muros o en el caso de los cimientos de mampostería sirven para darle un acabado en la parte superior que es donde se pone las dadas de desplante pero son demasiadas las aplicaciones que se le puede dar a este material.

2.6.4. Tipos de mortero.

Los morteros tienen una gran gama de tipos y estos van dependiendo de su aplicación o de los materiales que lo conforman. Primeramente se mencionan los morteros de acuerdo a su aplicación:

- Adherencia de otros elementos
- Acabados
- Relleno

Además de que también hay los morteros clasificados de acuerdo a sus materiales:

- Morteros base cemento portland
- Morteros base cal
- Morteros base yeso
- Morteros base cal más yeso

Hay morteros que se les denomina especiales, ya que se ocupan solamente de dos materiales los cuales son el cementante más agua y estos tienen más que nada una clasificación de acuerdo al uso que son empleados:

- Adhesivos para cerámicos.
- Cementante especial para pegar elementos
- Cal para enjarrar
- Yeso para enjarrar
- Arcilla para enjarrar

En la actualidad se tienen varios materiales no convencionales pero que lo fueron, y ahora están marcando de nuevo tendencia de acuerdo a las mejoras implementadas para su uso, además de conservación de muros con un valor histórico importante, sin embargo las nuevas tendencias ofrecen el ahorro económico que hace algunos años no se tenía.

Existen varios tipos de cemento, así como de su proceso de elaboración y proporción de los materiales usados que pueden o no formar parte del producto, sino que pueden ser materiales adicionales que pueden tener naturaleza orgánica e inorgánica y que ofrecen otra alternativa para mejorar las propiedades de los morteros, además de que ofrecen un ahorro sustancial en el uso del cemento.

Los morteros que no conllevan agregado deben de utilizarse solo como adhesivos o terminados, ya que al no contener agregados pétreos pierden cierta resistencia y además pueden generar agrietamientos de la pasta.

3. Desarrollo experimental

3.1. Pruebas del cemento

Las pruebas al cemento son de vital importancia ya que se requiere de saber cuánta agua se requiere para que tenga su consistencia óptima para que se pueda manejar así de lo que tarda en fraguar el cemento con respecto al agua que se le aplica para dependiendo de que si las adiciones o al agregarle nuevos materiales que tanto le influyen en esta estas pruebas son de gran utilidad ya que dependiendo del tipo de cemento es el agua que necesitan y en base a la distinta composición del cemento fragua más rápido o más lento o tiene menor calor de hidratación por lo que estos son factores que intervienen en los parámetros antes establecidos y en este caso lo que se analiza es la alteración que sufre pos la adición de la maralfalfa en estos.

3.1.1. Consistencia normal del cemento

La consistencia del cemento se refiere a la cantidad de agua necesaria para que el cemento sea manejable en donde es una prueba de hacer varias proporciones e iteraciones ya que hay ocasiones en las que la pasta resulta o muy espesa o muy aguada. La realización de la

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

prueba consiste en pesar una cantidad fija de cemento que y al combinarla con agua se colocaba en el aparato de Vicat.

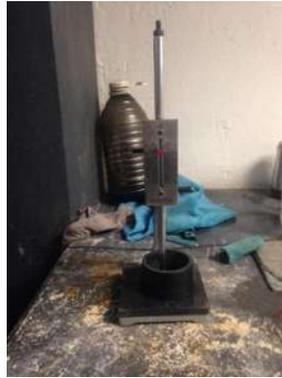


Figura 6. Aparato de Vicat. Por Luis Alberto González

En este caso se usaron muestras de cemento de 300g que de la cual se colocaba en una capsula de porcelana que es lo suficientemente grandes para su colocación o que la mezcla del cemento y el agua sean contenidos y así realizar la mezcla, con el cemento se hace una forma troncocónica de tal modo para verter ahí el agua.

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO



Figura 7 Obtención de los 300g de cemento. Por Luis Alberto González

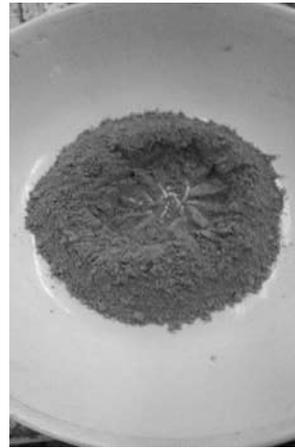


Figura 8 Colocación del cemento en la capsula para mezclar con el agua. Por Luis Alberto González

Se propuso un porcentaje de agua para mezclar en donde este porcentaje se multiplica por la cantidad de cemento en peso para obtener la cantidad de agua en peso. Se le agrega el agua en la mezcla de modo que no se desborde por las orillas de la forma tomando el tiempo en el que el agua entra en contacto con el cemento para futuras pruebas y corriendo un cronometro para el desarrollo de las pruebas se esperan 30 segundos, a otro intervalo de 30 segundos se cubre completamente el agua de cemento dejando reposar la pasta, en otros 30 segundos se mezclan el agua y cemento cuidando que no quede ninguna parte de cemento quedara sin hidratar para después juntar toda la pasta en una esfera para posteriormente consolidarla mejor y se pasa de una mano a otra en seis ocasiones en una distancia de aproximadamente 15 centímetros en el cual al hacer este procedimiento deben de pasar los 30 segundos para dejar la pasta reposar en una mano y al pasar el tiempo se ponen en el molde del aparato de Vicat la pasta de modo que se colocan en pequeñas porciones hasta llenar el molde por la parte más ancha y enrasándolo con una espátula, se

coloca el molde con la pasta en un cristal de aproximadamente 5mm donde la parte más ancha este en contacto con el cristal y si hay un pequeño exceso de pasta se enrasa para poner en contacto la aguja del aparato en la pasta calibrando este para que la marca de cero y se deja caer la aguja de modo que va penetrando la pasta en un tiempo de 30 segundos y al pasar este intervalo de tiempo se revisa la distancia de penetración de la aguja para el valor que debe de dar es de 10 milímetros más menos uno. En el caso de que las agujas den un valor menor se repite la misma prueba con un porcentaje de agua más grande y si la aguja da un valor mucho mayor se ajusta un porcentaje de agua menor hasta que la aguja marque el rango de los 10mm y con el porcentaje de agua que nos dio se repite una segunda vez para garantizar que ese es el porcentaje optimo

3.1.2. Tiempos de fraguado del cemento

En esta prueba se hacen mediciones del tiempo en el que el cemento hace su fraguado tanto el inicial como el final, y la prueba se realizó con las pastas resultantes de la prueba de consistencia, en donde se expanden las pastas al diámetro de la longitud del cristal cuidando que la pasta tenga un espesor de aproximadamente 7mm, y para realizar esta prueba se requirió de las agujas de Gillmore que es un aparato que consta con dos agujas, una con un calibre relativamente grueso con un peso ligero y otra aguja con el calibre menor y un peso más considerable. Esta prueba consiste penetrar la pasta con estas agujas en un intervalo de 20 a 30 minutos, de modo que se aplique la penetración hasta que la mezcla se endurezca, primero se le aplica la penetración con la aguja de calibre más grueso y hasta que no deja marca, lo cual indica que se cumplió el fraguado inicial, se anota la hora y se le resta la hora registrada cuando el agua entra en contacto con el cemento. Después de que se encontró el fraguado inicial se aplica la penetración con la aguja más delgada para analizar el fraguado final. Esta prueba también tiene sus limitantes, es decir, depende mucho del tipo de clima y de la temporada en la cual se realiza la prueba, debido a que a temperaturas muy elevadas el cemento fragua más rápido y en caso contrario fragua más lento, esto sin mencionar los tipos de cemento. Para este caso las muestras se colocan en un cuarto de curado o un cuarto húmedo en el que se garantice la temperatura constante. Estas condiciones son de gran importancia, ya que los cambios de clima afectan gravemente la prueba. En épocas de calor resulta que hay más lluvias y en épocas de frío el clima es muy variable, pero también depende del tipo de cemento que unos fraguan más rápido que otros,

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

esto sin mencionar las adiciones de elementos que son las adiciones de las mezclas en donde hay adiciones que aceleran esta condición, así como también hay adiciones que la retrasan, aunque también existe lo que es el fraguado falso que es una condición o fenómeno en el que las pastas adquieren una resistencia o dureza más temprana y que no permite medir las condiciones del fraguado normal del cemento ya que ha adquirido una resistencia temprana aunque también cabe recalcar que el uso excesivo de las adiciones o aditivos en general también pueden afectar esta condición ya que estos al agregarse en porciones muy elevadas afectan de manera consistente el fraguado.



Figura 6 Determinación de los tiempos de fraguado con las agujas de Gillmore. Por Luis Alberto González

3.2. Caracterización de los agregados

3.2.1. Muestreo y cuarteo de los agregados

El muestreo de los agregados es de suma importancia ya que lo que se busca es que los agregados sean representados para poder hacer todas las pruebas que a estos se le hacen con motivo de que si se toma una parte parcial del lote o montón de agregados puede que resulten de buena calidad pero no resulta representativo para lo que es necesario hacer una obtención de los agregados tal que se obtengan pequeñas porciones del lote para garantizar que el material está debidamente muestreado. Para el muestreo del material se requiere de una cantidad de material de aproximadamente 100 kg dependiendo del tamaño del agregado que en este caso es arena o agregado fino mismo que suelen obtenerse de distintos lugares o fuentes tales como los de origen volcánico o triturados o de materiales que están e alguna

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

manera almacenados y que se requiere de realizar alguna mezcla con estos materiales y debe de ser el necesario para la realización de las mismas pruebas los agregados y para hacer los especímenes para después las otras respectivas pruebas. Para hacer el muestreo en este caso el material se deberá de obtener de pates aleatorias del montón en este caso debe de ser de nueve partes distribuidas de todo el montón variando el lugar y la altura del mismo. (NMX-C-030-ONNCCE-2004, 2004)



Figura 9 Muestra representativa de arena puesta a secar. Por Luis Alberto González

El cuarteo es una técnica que consiste en reducir la muestra de arena previamente obtenida del lote del tamaño o cantidad necesaria para cada una de las pruebas. Existen tres métodos para realizar el cuarteo, el primero es un cuarteo manual en el que consiste en que por medio del uso de palas el material es revuelto para garantizar su homogeneidad, se hace un traspaleo del material con la pala, de un lugar a otro, por lo mínimo en tres ocasiones y sin permitir que se haga de una manera brusca para evitar que los agregados más finos se dispersen en el aire, un método para evitar que los finos se dispersen es humedeciendo el material para que haya poca adherencia de las partículas más finas o que simplemente se tenga un poco de cuidado, ya que mojar los agregados se suelen lavar los finos, por lo que no sería representativo a la hora de hacer las pruebas posteriores, una vez que se haya hecho el traspaleo se tiene el montón de arena en forma cónica, se aplana la punta del cono con la pala de tal modo que quede una forma troncocónica para después dividir este material en cuatro partes iguales de las cuales solamente se escogen las que están opuestas y el otro material se descarta, este método es para reducir el material en una gran proporción pero tiene la desventaja de que los agregados se pueden dispersar y además puede que el material se contamine con los sedimentos propios de la atmosfera por lo que

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

se recomienda hacer este cuarteo en un lugar limpio, rígido y cerrado para evitar la contaminación del material con otro no deseado. Hay otro método de cuarteo es para muestras de donde las condiciones del lugar no son las óptimas o se requiera de una cantidad de material bastante pequeña y la cual consiste en colocar el material sobre una lona o un material que sea lo bastante amplio para contener el material y el método consiste en juntar las puntas opuestas del hule, lona o bolsa de plástico de modo que el material se vaya homogeneizando y se separa el material en dos partes para que se tome una parte y la otra se descarte para otras pruebas, este método es más eficiente en aquellos casos en donde el lugar para hacer la reducción de las muestras no es el adecuado porque no se cuenta con las condiciones para hacer los cuarteos con los otros métodos.

(NMX-C-170-1997-ONNCCE, 1997)

El segundo método consiste en un cuarteo más mecánico y se usa el cuarteador que es una herramienta que consta de varios conductos de los cuales para el caso de las arenas deben de ser mínimo doce conductos por lo que son seis pares del mismo tamaño cada uno y donde el tamaño de los conductos debe de ser un 50% más grandes que el tamaño máximo del agregado que para este caso son agregados que pasen la malla número cuatro (4.75mm). (NMX-C-170-1997-ONNCCE, 1997) en la que después de hacer el traspaleo se coloca el material en una charola para verter el material sobre esta herramienta que al momento de que el material cae por la herramienta este se va repartiendo en dos charolas individuales de modo que el material se reparte de manera homogénea y quedando aquella cantidad reducida en dos mitades para lo que una se toma y la otra es descartada este método de cuarteo es más exacto y más rápido pero tiene la limitante de que el material que se está cuarteando es un poco menor que con el método anterior para lo que es el ideal para obtener el material en la realización de las distintas pruebas,

3.2.2. Masa volumétrica seca y suelta.

Esta prueba trata de determinar la masa del material que es contenida en una unidad de volumen tal y como se encuentra en su estado natural, esta prueba se hace con la finalidad de que se puedan contabilizar varias cuestiones como es el caso de volúmenes de material y saber cuánto pesa este material además de tener una idea de que tanto influye el peso de los determinados viajes de arena que son transportados a dichas obras. La masa volumétrica

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

seca y suelta es un parámetro que nos sirve para el cálculo del proporcionamiento de saber la cantidad de botes de agregados necesarios para la realización de una mezcla de concreto de cualquier resistencia. Cabe destacar que el material debe de estar seco en su totalidad, ya que de presentar una mínima cantidad de agua no resultaría representativo al momento de su realización. Para realizar esta prueba se requiere un recipiente calibrado, de masa y volumen conocidos, de acero inoxidable preferentemente, en forma cilíndrica y que sea apto para un uso rudo. Este recipiente se tiene que llenar de arena mediante un cucharón, cuidando no colocar el material desde una altura mayor a 5 centímetros, ya que se pueden perder los finos que integran el material. El recipiente se debe de llenar de manera uniforme hasta que el material sobrepase los bordes del recipiente y el material sobrante se enrasa, se limpia el recipiente de las orillas para quitar el exceso de material y por último se toma la masa del recipiente más el agregado. (NMX-C-073-ONNCCE-2004, 2004)



Figura 10. Dimensiones del recipiente de masa volumétrica. Por Luis Alberto González



Figura 11. Llenado del recipiente hasta 5 cm de la altura del borde. Por Luis Alberto González



Figura 12. Enrasado del recipiente. Por Luis Alberto González



Figura 13. Obtención de la masa de la arena más el recipiente. Por Luis Alberto González

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

Para obtener la masa volumétrica seca y suelta se requiere de la siguiente fórmula:

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

Donde:

M.V.S.S.: Masa Volumétrica Seca y Suelta (g/cm^3)

M: masa de la arena (g)

V: volumen del recipiente (cm^3)

Para la realización de la prueba se hacen por lo menos tres veces y el resultado de dicha prueba no debe de tener mucha varianza de un resultado de la prueba con el otro.

3.2.3. Masa volumétrica seca y varillada.

Esta prueba es muy similar a la de masa volumétrica seca y suelta solo que para esta el único cambio que tiene es el modo de su realización, ya que para esta prueba se requiere de un cierto grado de compactación en su proceso de realización y debido a esta compactación es que se pierde más cantidad de vacíos por lo que su masa es mayor. La prueba se hace de la siguiente manera: se comienza a llenar el recipiente descrito en el tema 3.2.2 de la misma manera de cómo se llenó con la prueba de la masa seca suelta, solo que para este caso se llena en tres capas y a cada capa la arena se compacta con una varilla de punta de bala que debe de ser de un tamaño de 600 milímetros y de un calibre de 16 milímetros en donde se le aplican 25 compactaciones distribuidas en toda el área del recipiente. Existe otro método que consiste en golpear el molde contra una superficie firme durante 50 ocasiones, sin embargo esta compactación es muy poco recomendable, ya que el recipiente sufre de mucho desgaste y abolladuras, se llena con creces pero en la última capa se debe de cuidar que al compactar el material no se desborde y si ya no se cubre el borde del recipiente se detienen las compactaciones y se vuelve a rellenar con creces terminando de compactar la arena y se enrasa y después se limpia el recipiente y se pesa. (NMX-C-073-ONNCCE-2004, 2004)

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO



Figura 14. Compactación de las primeras capas. Por Luis Alberto González



Figura 15. Compactación de la última capa. Por Luis Alberto González

Para obtener la masa volumétrica seca y varillada se requiere de la siguiente fórmula:

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

Donde:

M.V.S.V.: Masa Volumétrica Seca y Varillada (g/cm^3)

M: Masa de la arena (g)

V: Volumen del recipiente (cm^3)

3.2.4. Granulometría

Esta es una prueba en donde se busca determinar la cantidad individual de cada tamaño en una muestra de arena, para lo cual hay ciertos límites permisibles para la elaboración de concretos y morteros. La prueba consiste de la siguiente manera: se toma una muestra de agregado de 600 gramos que previamente fue homogeneizada para lo que se usan una serie de mallas o tamices que son de #4, 8, 16, 30, 50, 100, 200 y charola. Estas se acomodan de manera ascendente de modo que la 4 quede hasta la parte superior y la charola en el fondo, se vierte el agregado sobre estas y se le pone una tapa, para llevarlas al aparato raf-taf. Este aparato hace que las mallas se muevan por medio de vibraciones durante un tiempo de 10 minutos para lo cual al terminar este tiempo se retiran las mallas del aparato y el material que fue vertido se distribuyó en todas las mallas hasta en la charola debido a la variabilidad de los tamaños que en esta muestra se encuentran obteniéndose así la masa de material

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

retenido en cada una de las mallas, en donde la suma de todos los retenidos debe ser igual al peso inicial de la muestra. (NMX-C-077-1997-ONNCCE, 1997)



Figura 16. Mallas y raf-tap habilitados con una muestra de arena en el interior de estas. Por Luis Alberto González.

En cuanto a la obtención del porcentaje retenido de granos de los distintos tamaños se obtienen con la siguiente fórmula:

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

Para el porcentaje acumulativo se calcula con la siguiente fórmula.

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

Otra cosa que se necesita es el cálculo del % que pasa:

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

Lo que se debe de calcular con la granulometría en arenas es el módulo de finura y el cual es calculado con la siguiente fórmula:

$$M.F. = \frac{\sum \text{porcentaje acumulativo de malla \#8 a \#100}}{100}$$

El propósito de esta prueba es conocer el módulo de finura, dato que se requiere para el cálculo del proporcionamiento y para la calidad del material, ya que en el reglamento estipula que deben de pasar cierto porcentaje para cada una de las mallas.

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO



Figura 17. Material retenido de las mallas pesado y colocado en hojas de papel. Por Luis Alberto González

Esta prueba es de las más importantes para obtener los datos necesarios para encontrar el volumen o peso de los agregados que se requieren en el diseño de las mezclas. Además de que hay ocasiones en las que falta algún tamaño de agregado para hacer alguna compensación o si las muestras contienen mucho material fino, ya sea arcillas o limos lo ideal es hacer un lavado de agregados en este caso en esta prueba debe de tenerse un cierto equilibrio de que para tanto porcentaje que retiene ciertas mallas debe de ser el adecuado, cabe destacar que para el caso de las arenas son aquellas que pasan la malla número 4, si hay material retenido por esta malla se considera grava.

3.2.5. Humedad superficialmente seca y Humedad de absorción.

En esta prueba nos indica el porcentaje de agua que absorbe los agregados que en este caso es arena. Para hacer esta prueba se requiere de una preparación en donde se tiene que poner la arena superficialmente seca en donde para lo cual resulta imposible el secar superficialmente grano por grano y secarlos con este método resultaría poco productivo ya que al retirarle el exceso de humedad se quedarían los finos en el lienzo que se usaría para retirarle la humedad superficial. Para esto de poner el agregado fino en el estado

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

superficialmente seco se requiere de cierto equipo que consiste en un molde troncocónico que por lo general es de lámina inoxidable como el bronce y con un espesor mínimo de 0.8 milímetros con medidas internas de 40 milímetros de diámetro superior y 90 milímetros de diámetro inferior, y 75 milímetros de altura todas las dimensiones antes mencionadas excepto el calibre pueden variar con 3 milímetros, además de que se debe de contar con un pizón de forma cilíndrico y con una masa de 340 gramos y varianza de 15 gramos con una superficie de apisonamiento plana y normal al eje longitudinal, con diámetro de 25 milímetros con varianza de 3 milímetros y una charola metálica se pone a saturar agregado con agua durante 24 horas, con motivo de garantizar que los agregados que tengan poros se saturen completamente de agua, se colocan en un lugar donde se produzca calor que en este caso puede ser una parrilla o en un soporte universal con un mechero de tal modo que esta charola o recipiente este calentándose para que el agua contenida en el agregado se evapore, lo que se tiene que hacer es que con el uso de una espátula se va revolviendo el material de modo que se valla secando progresivamente, para que el material se encuentre en estado seco superficialmente se va a colocar dentro del molde troncocónico de tal manera que se llena en tres capas y en total se le aplica 25 compactaciones con el pizón en la primera capa se compacta 12 veces distribuidas uniformemente, en la segunda capa se le aplican 8 compactaciones y en la última capa se le aplican 5 compactaciones, una vez lleno el molde se enrasa y se retira el molde de la muestra cuidando de no tocar la muestra con el molde y lo que pasa es que la arena se tiende a disgregar con la pérdida de humedad para lo que al identificar que la arena se encuentra superficialmente seca esta se disgrega de modo que se forma un cono con la muestra de agregado o que una parte de esta muestra empiece a disgregarse. (NMX-C-165-ONNCCE-2014, 2014)

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO



Figura 18. Una muestra de agregado fino que se puso en calor para que perdiera humedad. Por Luis Alberto González



Figura 19. Prueba del molde troncocónico. Por Luis Alberto González

Una vez que el material se encuentre en esta condición se pesa cierta cantidad de material en este estado para anotarse este dato como masa superficialmente seca, se pone otra vez en calor el material previamente pesado hasta que se seque de manera total obteniéndose otra vez la masa y por diferencia se saca el porcentaje de agua contenida. Para identificar que el material se encuentra en estado seco se usó un método el cual consiste en usar un cristal que se coloca en la parte superior del agregado empañándose con el agua que se evapora con el calor, de esta manera se determina que el material aun contiene humedad para lo que se tendrá seguir en contacto con el calor para lo cual una vez que el material se encuentra absolutamente seco el cristal ya no se empañara.



Figura 20. Obtención de la humedad por medio del cristal. Por Luis Alberto González



Figura 21. Determinación del peso seco del agregado. Por Luis Alberto González

Para la determinación de la humedad se requiere de la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Abs.} = \frac{M_{ss} - M_s}{M_s} * 100$$

Donde:

%Abs.: porcentaje de Absorción.

M_{ss}.: Masa superficialmente seca.

M_s.: Masa seca.

3.2.6. Densidad de la arena.

La densidad de los agregados es la relación entre la densidad de los agregados superficialmente secos y la densidad del agua y es equivalente a la masa superficialmente seca de los agregados entre el volumen de agua desalojado en donde se consideran la masa de las partículas de agua que se adhieren en la parte interna de los agregados. (NMX-C-165-ONNCCE-2014, 2014) La prueba consiste en preparar una muestra representativa igual como en el capítulo 3.2.5 en donde se tiene que poner los agregados superficialmente secos con el molde troncocónico.



Figura 22. El agregado está en estado óptimo para la realización de la prueba. Por Luis Alberto González

Una vez preparada la muestra se hace la prueba de la siguiente manera:

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

Con el uso del vaso de Chapman y conociendo su peso se llena de agua hasta la primera marca que son 200 mililitros, se coloca una cantidad de agregados en masa como por ejemplo unos 300 o 350 gramos de agregados, una vez que el material se coloca el vaso se agita de tal modo que el agua se uniformice con los agregados, por último se le coloca agua hasta la marca de 450 mililitros para que después se le toma la masa del vaso más el material más el agua. Lo que se pretende con este vaso relleno de agua es el de eliminar en totalidad los vacíos contenidos entre agregados para lo que es necesario eliminar esto ya que estos vacíos pueden causar errores en el volumen de la muestra.



*Figura 23. Obtención de la masa del vaso de Chapman.
Por Luis Alberto González*



Figura 24. Vaso llenado con agua hasta la marca de 200 ml. Por Luis Alberto González



Figura 25. Colocación del agregado y homogeneizado con el agua. Por Luis Alberto González



Figura 26. Relleno de agua hasta la marca de 400 ml. Por Luis Alberto González

Para la obtención de la densidad de los agregados finos se usa la siguiente fórmula:

$$D = \frac{As}{Vf - (k - F - As)}$$

Donde:

D: Densidad en g/cm³

As: Masa Superficialmente seca del agregado fino en g.

Vf: Volumen del vaso de Chapman en cm³

F: Masa del vaso Chapman en g.

k: Masa del vaso más el agua más el agregado en g.

3.2.7. Colorimetría en arenas

En cuanto a la caracterización de los agregados hay pruebas del tipo cuantitativas aunque también existen del tipo cualitativas como esta que lo que indica es el grado de materia orgánica existente en los agregados finos o que las impurezas orgánicas son muy contaminantes de los agregados en este caso finos ya que este tipo de materia presente en las mezclas puede hacer reacciones en estas y este tipo de materia con el tiempo se va degradando con lo que en una mezcla que se pierde parte del material la misma mezcla va perdiendo resistencia o se va adquiriendo más agrietamientos por la formación de poros más grandes debidos a la degradación de esta materia otra consecuencia de que las mezclas tengan materia orgánica es de que se alteran las propiedades del cemento tales como para el fraguado entre otros aspectos fundamentales que componen al cemento. Para la realización de la prueba se requiere de una muestra de agregado fino con un recipiente graduado de aproximadamente 220 mililitros y con una graduación de 10 mililitros que sea transparente y de boca ancha y debe de contar con una tapa ya sea de plástico o vidrio que garantice el cierre hermético del frasco que para ese caso se usaron unos biberones, una solución de sosa caustica en agua destilada que es en proporción de 3% de sosa caustica para 97% de

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

agua destilada y de una tabla de colores patrón impresos en papel. (NMX-C-088-1997-ONNCCE, 1997)



Figura 27. Solución de sosa caustica. Por Luis Alberto González

Lo que se hace es que se pone cierta cantidad de arena hasta la marca de 130 mililitros y se le coloca la sosa caustica hasta los 200 mililitros y se cierra la botella de modo que no se derrame la solución de sosa y se agita durante dos minutos.

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO



Figura 28. Llenado de botella para la prueba de colorimetría. Por Luis Alberto González



Figura 29. Botellas llenadas hasta la primera marca. Por Luis Alberto González



Figura 30. Botellas llenadas de sosa cáustica hasta la segunda marca. Por Luis Alberto González



Figura 31. Botellas llenadas y agitadas. Por Luis Alberto González



Figura 32. Muestras de colorimetría dejadas en reposo durante un día. Por Luis Alberto González



Figura 33. Comparación de la colorimetría por medio de la tabla. Por Luis Alberto González

Para determinar el grado de materia orgánica se hace de manera comparativa en donde se hace el uso de una tabla comparativa que entre más oscuro sea el color que tome la solución

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

de la sosa más materia orgánica contiene y solamente se permite cierto valor de materia orgánica permisible para poder usar estos agregados finos y usarlos en la tabla comparativa es de que no supere el color de la escala número 3.

3.2.8. Sedimentación en arenas.

Esta prueba es de comparaciones en cuanto a la cantidad de sedimentos que contiene un agregado fino mismo que a la hora de mezclado con el cemento y el agua pueden ser perjudiciales ya que ocasionan ciertas reacciones con el cemento mismas que durante el paso del tiempo pueden afectar los elementos de las mezclas que se realizaron y estos finos pueden ser materiales como suelos de tipo arcillas o limos que absorben el agua de la mezcla reteniéndola por lo que se debe usar una cantidad adicional de cemento para compensar esta cantidad de agregados en donde estos se deben de conglomerar de tal modo que haya buena cohesión entre sus partículas. En una muestra de agregados se deben de tener cierta cantidad de finos permisible para que este material sea apto en cuanto al uso en mezclas de mortero o concreto. La prueba se realiza en unos frascos que están marcados en tres niveles, el agregado fino se coloca hasta la primera marca sin pasarse y que los agregados se encuentren al mismo nivel, una vez que el material se encuentre en condiciones se le vierte agua destilada hasta la otra marca para después cerrar el frasco y agitarlo durante dos minutos para que después se deja reposando durante 24 horas para lo que se tiene que revisar que los sedimentos se quedan suspendidos en el agua por lo que poco a poco se van asentando en la arena y para lo que se tiene que ver al pasar las 24 horas que el material se haya asentado por completo y que no sobrepase la segunda marca del frasco.

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO



Figura 34. Llenado de los frascos hasta la primera marca. Por Luis Alberto González



Figura 35. Frascos llenados de agua, tapados y agitados. Por Luis Alberto González



Figura 36. Consolidación de los sedimentos hasta la segunda marca. Por Luis Alberto González

3.3. Diseño de mezcla y elaboración de los especímenes

3.3.1. Diseño de mezcla.

Para la elaboración de las mezclas de mortero no existe procedimiento específico, por lo que realice la mezcla en base al el diseño por fluidez, que es un proceso que consiste en analizar que la mezcla sea trabajable, pastosa y cohesiva. El equipo utilizado en esta prueba consta de balanza, cuchara de albañil o espátula, una mesa de fluidez con su molde y un pisón (NMX-C-061-ONNCCE-2015, 2015). De acuerdo a la normativa se utilizó una proporción 1 a 2.75, es decir, una parte de cemento y 2.75 partes de arena, además del agua resultante del diseño por fluidez. La fluidez se determinó con la suma de los diámetros de 110% con tolerancia de 5% medidos con el calibrador en la mesa de fluidez. Se propone una cantidad de agua con las cantidades fijas de cemento y arena, se hace la mezcla, se habilita la mesa y se prepara el molde; posteriormente se llena la primera capa del molde hasta la altura de 25 milímetros y se compacta con el pisón con 20 veces de manera

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

uniforme, se llena la última capa y se compacta con el pisón de la misma manera y después el platillo de la mesa se deja caer 25 veces durante un tiempo de 15 segundos tomando así las dimensiones del diámetro de la mezcla de mortero. Una vez que de los 110% se hace otra mezcla con motivo de corroborar y los tiene que dar, si no da la medida de los diámetros se propone otra cantidad de mezcla y se hacen proporciones de mezcla hasta que nos de los 110% (NMX-C-061-ONNCCE-2015, 2015)



Figura 37. Mezcla del cemento mas la arena en proporcion 1:2.75 respectivamente. Por Luis Alberto González



Figura 38. Administración del agua propuesta en la relación agua cemento. Por Luis Alberto González



Figura 39. Mezclado del mortero por determinación de la fluidez. Por Luis Alberto González



Figura 40. Determinación de la fluidez la compactación con el pisón. Por Luis Alberto González

3.3.2. Elaboración de los especímenes.

En cuanto a la elaboración de los especímenes se tiene que usar la cantidad promedio de los proporcionamientos de todas las mezclas y con este se hacen todas las mezclas, con el fin de hacer una comparativa entre estas para lo cual se tiene que mezclar primero el cemento con la arena, una vez que ya quedo bien homogeneizada esta mezcla se deja un poco en reposo para que los finos se vayan asentando por los que al recipiente en donde se hace la mezcla se le pone un objeto que evite que los finos se dispersen en el ambiente, después se

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

le agrega el agua y se mezcla hasta que la mezcla queda totalmente homogénea se procedió a la elaboración de los especímenes que para esta experimentación son cubos de 5 centímetros de arista, prismas rectangulares de 4x4x16 centímetros, cilindros de 5 centímetros de diámetro y 10 centímetros de altura y briquetas.

Elaboración de Cubos.

Una vez que ya este la mezcla de mortero realizada se usaron en este caso moldes para cubos que sean de acero de un calibre tal que no se deforme con la mezcla, se les debe de aplicar una capa de grasa muy pequeña con el fin de que los especímenes no se mesclen con la grasa, ya que la finalidad de la grasa es evitar que se adhiera la mezcla en las paredes del molde, una vez que se lubrican los moldes se comienzan a llenar con las mezclas en cuatro capas, para lo cual a cada capa se le aplica una compactación con un pisón de forma prismática de la siguiente manera:

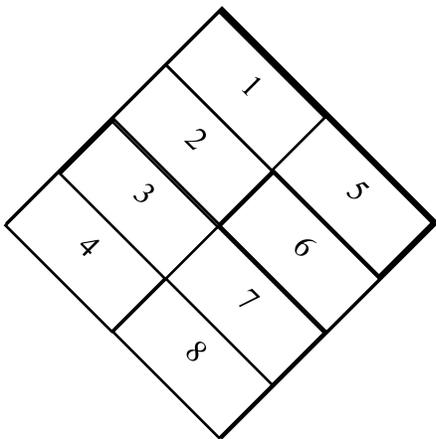


Ilustración 1 llenado capas 1 y 3

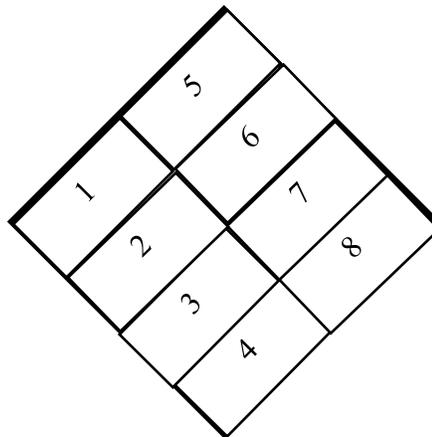


Ilustración 2 llenado de capas 2 y 4

Las capas de mortero deben de ser de aproximadamente 1.25 centímetros de espesor y las compactaciones deben de ser con tal fuerza que en la primera capa no toque la base del molde y en las capas subsecuentes no sobrepasen las capas inferiores, además de que en cada capa se le debe de hacer otra compactación la cual consiste en que los moldes se golpean la base contra una superficie rígida y dura para que sobresalgan los vacíos acumulados en la mezcla y quede una mezcla más densa, en la última capa se le coloca material adicional si con las compactaciones el material se quede de un nivel inferior a los

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

bordes del molde y se compensa para que después sea enrasado. El número de especímenes que se deben de hacer es de acuerdo a la cantidad de edades a la que se desea hacer las pruebas usando como mínimo, una vez que los moldes son enrasados se dejan reposar de 20 a 24 horas esperando que se fragüe la mezcla y se retiran los especímenes del molde para lo cual se deben de dejar en un lugar donde la temperatura sea de máximo 24° Celsius, una vez que los especímenes son retirados de los moldes se procede a marcar los especímenes con las debidas nomenclaturas y se procede a colocar los especímenes en un recipiente con agua para que adquieran un curado por inmersión hasta las posteriores fechas que se requieren para su colado. (NMX-C-061-ONNCCE-2015, 2015)



Figura 41. Mezclado del mortero bajo un proporcionamiento establecido. Por Luis Alberto González



Figura 42. Llenado de los moldes en capas y en distintas molduras. Por Luis Alberto González



Figura 43. Compactación con el pisón. Por Luis Alberto González



Figura 44. Enrasado de los especímenes en los moldes. Por Luis Alberto González

Elaboración de prismas.

Los prismas son elementos que requieren más volumen de la mezcla si se compara con los cubos puesto que son elementos de mayor tamaño que pero no más importantes que los cubos, puesto que ambos se le pueden aplicar casi las mismas pruebas, y su elaboración consiste en colocar una lubricación ligera de tal modo que la grasa no afecte las propiedades de la mezcla, se le coloca la mezcla en dos capas de aproximadamente dos centímetros de espesor y se procede a compactarlas con el pisón prismático en donde se compacta de la siguiente manera:

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

1	2
3	4
5	6
7	8
9	10
11	12
13	14
15	16

Las compactaciones se deben de hacer de tal manera que el pisón aplique la carga a manera de zigzag y que el pisón en el caso de las capas inferiores se le aplique de modo que el pisón no toque la base de los moldes y en las capas superiores que las compactaciones no se traslapen con las capas de la parte inferior y compactar contra una superficie solida el molde para extraer los vacíos y a la última de las capas superiores se engrasa de modo que evitar los excesos de mortero. Se dejan en reposo para lo cual se tiene que fraguar esta, se retiran de los moldes para lo cual se tiene que etiquetar y poner en un recipiente con agua para curar los especímenes.

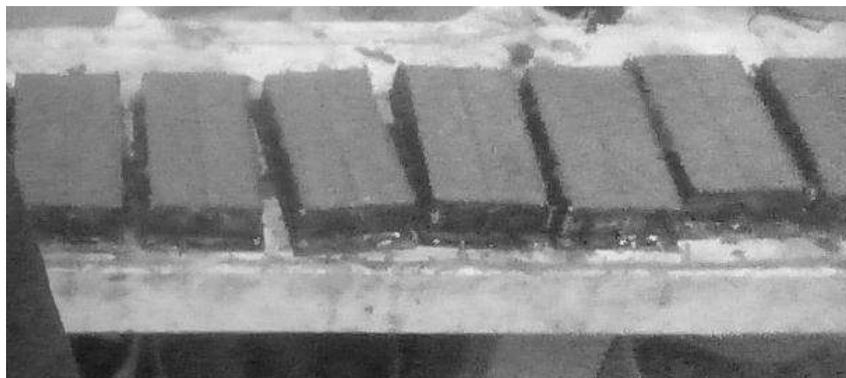


Figura 45. Prismas elaborados y puestos en reposo para despues colocarlas a reposar. Por Luis Alberto González

Elaboración de cilindros.

Se usan moldes cilíndricos previamente armados y engrasados ligeramente. La elaboración consiste en llenar en capas de aproximadamente 3 centímetros, se compactan con un alambrión de $\frac{1}{4}$ de pulgada de modo que este en la primera capa no toque la base del molde y que las capas superiores no traslapen las inferiores haciendo 25 compactaciones distribuidas uniformemente en la superficie del cilindro, una vez terminadas las compactaciones se golpean con un mazo o contra una superficie rígida minimizar los vacíos

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

internos entre la mezcla, a la tercera y última capa se compacta y compensa de mezcla de modo que se pueda enrasar, dejándose en reposo de 20 a 24 horas para que la mezcla fragüe, una vez que los elementos se fraguaron se desmoldan, se etiquetan y se colocan en un recipiente lleno de agua para que se vayan curando por inmersión. Un aspecto que se debe de cuidar a la hora de hacer los cilindros es que no demore mucho tiempo en colocarle las capas ya que se puede endurecer y no se mezcla con las otras capas subsecuentes, esto es en el caso de que se termine la mezcla y se prepare mas no demorarse demasiado en elaborarlas para que se mezcle bien con las capas ya hechas.

Elaboración de briquetas.

Las briquetas son elementos que sirven para determinar la cohesión de los elementos que conforman la mezcla de morteros y están diseñadas de tal manera que estos tengan una sección angosta en la parte media y en las orillas tiene una sección más ancha de tal modo que con un mecanismo se usan unas mordazas que sujeten las orillas y tensionen estos elementos. Las briquetas se hacen de la siguiente manera: en una placa de cristal se coloca una lubricación con aceite, después se coloca sobre la placa de vidrio el molde de las briquetas que en este caso se hacen de tres y se les coloca una capa de mezcla hasta una la mitad del espesor del molde y se compactan con las yemas de los pulgares las partes con mayor área de la briqueta 25 veces, se termina de llenar el molde y se compacta de la forma antes mencionada y se enrasa, una vez enrasados se retira la moldura del cristal con precaución para que las briquetas no pierdan su forma por lo que se recomienda que la mezcla debe de estar un poco espesa o que ya haya obtenido un poco de fraguado ya que al retirar el molde la mezcla se suele fluir y se recomienda que la briqueta este bien realizada. Se realizan las briquetas con el mismo molde solamente que se retira y las muestras se están en la intemperie.

3.4. Pruebas no destructivas

En cuanto a las pruebas no destructivas son aquellas en las que los especímenes no son deformados o que no sufren fallas ya que son pruebas en las que se obtienen los datos sin destruir necesariamente los especímenes pero con la ventaja de que los especímenes pueden

ser usados para pruebas posteriores y más que nada son pruebas que pueden determinar distintas cosas como cuestiones de durabilidad y resistencia en cuanto al uso de ecuaciones se determinan estos parámetros de una manera aproximada que con las pruebas destructivas. En la realidad estas pruebas son de lo más novedoso en cuanto a la realización de pruebas ya que en ellas recaen unos parámetros en los que determinan la durabilidad de las mezclas. Que es uno de los factores que más demanda están teniendo las nuevas construcciones que se están realizando porque solamente en el pasado se pedía que las construcciones tengan o soporten ciertas cargas sin embargo por cuestiones tanto atmosféricas como de los procesos que intervienen en el uso de máquinas por el ser humano dichas construcciones que se van realizando se van acabando o destruyendo ya que ciertos elementos de la mezcla que reaccionan con los gases del efecto invernadero o con los compuestos de la naturaleza como el agua salada de los mares que es uno de los principales causantes de la corrosión de las estructuras que son realizadas en el mar tales como los puertos. Además de que hay pruebas en las que lo que se quiere determinar es el cómo se encuentra internamente esto en referencia a los poros internos que es uno de los factores que determinan la porosidad de las mezclas una vez que ya están consolidadas que es uno de los factores en los que influye más en la corrosión ya que los compuestos que son causantes de estos penetran con mayor facilidad sobre elementos que contienen muchos poros y más si están interconectados entre sí por lo que estas pruebas son de gran utilidad al momento de evaluar las mezclas con respecto a las condiciones atmosféricas existentes y en lugares donde las situaciones de compuestos son muy elevadas.

3.4.1. Porosidad total en morteros.

Esta es una prueba en la que se determina el porcentaje de poros presentes en las muestras de mortero que son pérdidas de densidad en los morteros o la cantidad de vacíos presentes en las muestras de mortero. Para esta prueba se requiere de saber distintos datos como el peso seco de los materiales a realizarle la prueba, su peso superficialmente seco que es un parámetro que nos determina la cantidad de agua que absorben los elementos y de su peso sumergido en agua que es una comparativa entre las densidades de los materiales con la densidad del agua y este parámetro nos sirve para identificar como se encuentra internamente la interconexión de poros y gracias a esto se identifica que tan sólida es la mezcla internamente y esta prueba esta correlacionada con otras pruebas ya que entre más

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

porosa es la mezcla menos resistencia tiene y menos durable puede ser. (Trocónis de Rincon, Helene, Andrade, Diaz, & Romero de Caruyo, 1998)



Figura 46. Determinación de la masa superficialmente seca de los especímenes. Por Luis Alberto González



Figura 47. Determinación de la masa sumergida de los especímenes. Por Luis Alberto González



Figura 48. Obtención de la masa seca de los especímenes. Por Luis Alberto González

Para el cálculo del porcentaje de la Porosidad Efectiva se requiere de la siguiente ecuación:

$$G.E. = \frac{\text{masa superficialmente seca} - \text{masa seca}}{\text{masa superficialmente seca} - \text{masa sumergida}} * 100$$

3.4.2. Densidad de morteros.

Esta prueba es particularmente una que nos sirve para la determinación del peso por unidad de volumen de los morteros que básicamente es para saber qué cantidad de mortero se requiere en determinadas construcciones y que tanto pesa y además entre más pesa un material, se deduce que menos cantidad de vacíos contiene internamente y con esto entre

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

más materia internamente hablando tiene un material más resistentes son ya que hay una mejor conglomeración entre sus materiales elementales. Para esta prueba intervienen dos factores que son la masa superficialmente seca y el volumen del mortero con esta misma condición, con estas dos unidades se obtiene una relación en donde es también de gran utilidad a la hora de calcular grandes volúmenes de mortero en este caso. A lo que se refiere con que el material debe de estar saturado con agua internamente ya que se considera los especímenes como si fueran cuerpos enteros.



Figura 49. Determinación de la masa de un espécimen en forma de cubo. Por Luis Alberto González



Figura 50. Determinación del volumen de especímenes en forma cúbica. Por Luis Alberto González

3.4.3. Resistividad eléctrica.

La resistividad consiste en el recíproco de la conductividad eléctrica y depende de varios factores como la conductividad de los poros en la parte interna de las mezclas, de la conductividad del agua que está internamente atrapada en las distintas mezclas y en el contenido de sales disueltas internamente. Esta prueba consiste en determinar la resistencia de las mezclas que son sometidas a cierta corriente eléctrica para identificar su grado de durabilidad ya que en esta prueba determina además la interconexión entre los poros y la prueba se puede hacer en distintas circunstancias. (Trocónis de Rincon, Helene, Andrade, Diaz, & Romero de Caruyo, 1998) Una de ellas es la más práctica y consiste en aplicarle la prueba a los especímenes hechos de morteros bajo ciertas condiciones de laboratorio y con el aparato adecuado se le aplica la prueba, dicho equipo consiste en un resistómetro aparato que mide la resistencia de los especímenes en ohms (Ω) y la prueba requiere de ciertas herramientas adicionales en donde son complementos del aparato para determinar esta condición en las muestras de mezcla, dichos instrumentos consisten en placas de cobre,

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

piezas de franela de algodón o lienzo y agua que se habilitan de la siguiente manera: para los cables del aparato se conectan a este, el aparato cuenta con cuatro puertos donde se conectan los cables (C1, P1, C2 Y P2) para la realización de la prueba se deben de conectar los puertos C con los P coincidiendo los números y se conectan los cables en uno de los puertos que están conectados en ambos números, se conectan los cables a las placas, se humedecen en agua las franelas y se le habilitan en las placas de cobre de modo que cubran toda el área de la placa y del espécimen en su totalidad, se coloca la muestra de mortero ya sea en cubos, cilindros o prismas en donde primeramente se determinan sus dimensiones para las cuales son requeridas al momento de hacer los cálculos correspondientes. Para el caso de los cubos se obtienen las dimensiones correspondientes a los lados del área de la base y el espesor que tiene, en el caso de los cilindros se obtiene el diámetro de la base y el espesor y para el caso de los prismas se toma las dimensiones del área pequeña y el espesor, se coloca una muestra como las antes descritas con las caras donde se le obtuvo el área que estén en contacto con las franelas húmedas y donde los elementos deben de estar superficialmente seco de tal modo que este saturado de agua internamente porque de esta manera se garantiza una conducción de la electricidad y se le coloca un objeto que pese en la placa superior para garantizar el contacto con las muestras que se estén probando. La prueba puede aplicarse de dos maneras de valores máximos a mínimos o de los valores mínimos a máximos para los cuales en el aparato usado es un resistómetro NILSON ELECTRICAL LABORATORY INC. ® modelo 400. Aparato que consta con una palanca que regula la intensidad de la corriente, dos perillas una que regula la escala de la resistencia y otra perilla en la que nos arroja valores del 0 al 11 con intervalos de una décima de unidad y una aguja de balance. La forma de funcionar de la manera de máximo al mínimo consiste en colocar las perillas al máximo valor, se acciona la palanca a donde dice low y la perilla de las escalas o intervalos de valor se gira hasta que la aguja cambie de sentido, se deja de accionar la palanca y se regresa una escala, se acciona la palanca a high y con la perilla de que tiene los valores se equilibra hasta que la aguja marque al centro del aparato. La forma de mínimo a máximo es de la misma solamente que se gira la perilla en distinto sentido.

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO



Figura 51. Resistómetro. Por Luis Alberto González



Figura 52. Obtención de las Dimensiones de una muestra de cubo. Por Luis Alberto González



Figura 53. Obtención de la resistencia eléctrica en una muestra de morteros. Por Luis Alberto González

Lo que se obtiene en el aparato es la resistencia eléctrica pero se obtiene por medio de la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{R.E.* A}{E}$$

Donde:

ρ : Resistividad eléctrica en $k\Omega \cdot cm$.

R. E.: Resistencia eléctrica en $k\Omega$

A: Área de la sección transversal de la muestra en cm^2 .

E: Espesor de la muestra en cm .

Esta prueba tiene ciertos intervalos en donde don ellos se obtiene criterios de evaluación o que tan riesgosos son con respecto a la corrosión. Estos criterios además tienen ciertas

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

variaciones de acuerdo a los investigadores sin embargo aquí se tiene unos parámetros en los cuales se presentan a continuación.

Tabla 1. Criterios de evaluación de riesgo de corrosión de mezclas de concreto.

Parámetros	Criterio de evaluación
$\rho > 200 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}$	Poco riesgo
$200 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm} > \rho > 10 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}$	Riesgo moderado
$\rho < 10 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}$	Alto riesgo

3.4.4. Velocidad de Pulso Ultrasónico (VPU).

La prueba consiste en pasar entre muestras de concreto o mortero un pulso ultrasónico que viaja en la parte interna de la muestra y lo que se detecta es en unos aparatos detecta el tiempo en el que esta onda ultrasónica pasa de un lugar a otro (transductores), aunque hay aparatos más sofisticados que arrojan el valor de la velocidad de manera directa. Entre más poros o interconexiones de poros hay en una mezcla menor será el tiempo de transición de las ondas ultrasónicas pero esto depende de la homogeneidad en la que se encuentran los especímenes, dicha característica corresponde a que tan distribuidos están los componentes de la mezcla en toda su masa y que no se encuentren vacíos. Esta prueba es de las más interesantes ya que con esta se pueden obtener varias condiciones de las mezclas tales como el módulo de elasticidad Dinámico y el módulo de Poisson que son condiciones que rigen el comportamiento de las mezclas en cuanto a su comportamiento en distintas sollicitaciones de carga o esfuerzos. Hay varias maneras de hacer la prueba, de manera directa la cual consiste en colocar los transductores en las muestras de manera opuesta y que haya una propagación de las ondas se pasen por toda la superficie de las muestras, de manera indirecta en donde las ondas pasan de un transductor a otro de forma que los transductores estén conectados en la misma cara de la muestra donde es muy aplicado en elementos que están fijos o anclados como muros o vigas, u la manera semidirecta proceso

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

que consiste en que las ondas sean captadas perpendicularmente. Para este caso se usó la manera directa ya que los especímenes se podían transportar con facilidad y su sección era pequeñas. La prueba consiste en tomarle la medida del espesor de los especímenes que en este caso se hizo en especímenes en forma cubica, cilíndrica y prisma rectangular ya que es la distancia con la que se calcula la velocidad, una vez tomada la longitud del espesor se colocan o habilitan las muestras de mortero ya sea en cubos, prismas o cilindros entre dos transductores que se conectan en el equipo que determina esta condición. En cuanto el habilitado se refiere a aplicarle un líquido viscoso ya sea miel o gel entre los transductores y las muestras de tal modo que haya una conexión más certera y confiable, el equipo debe de estar previamente calibrado y con la medida del espesor de la muestra para obtener la medida exacta de esta condición. Se acciona el aparato presionando enter y empieza a trabajar el equipo en donde arroja valores de velocidad en metros sobre segundo. Este aparato arroja los valores de la velocidad directamente y el valor verdadero es aquel valor que arroja en donde se repita cierto valor consecuentemente, sin embargo en el caso de los valores oscilan mucho el que se repita una vez es el verdadero.

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO



Figura 54. Aparato usado para la determinación de la velocidad de pulso ultrasónico. Por Luis Alberto González



Figura 55. Obtención de las dimensiones del espesor en muestras. Por Luis Alberto González



Figura 56. Obtención de la velocidad de pulso ultrasónico. Por Luis Alberto González

Esta prueba evalúa las condiciones de durabilidad en mezclas de concreto:

Tabla 2. Criterios de evaluación de concretos.

Velocidad de propagación	Calidad del Concreto
< 2000 m/s	Deficiente
2001 a 3000 m/s	Normal
3001 a 4000 m/s	Bueno
>4000 m/s	Durable

Cabe destacar que en esta prueba es apta para concretos o más que nada estas condiciones con la aptas para este tipo de material sin embargo se hace una comparativa con los morteros.

3.5. Pruebas destructivas

En este tipo de pruebas sirven para determinar la capacidad que tienen los materiales para resistir las distintas sollicitaciones y que corresponde en someter los materiales a ciertas cargas que son de tal magnitud que deforman los especímenes, para este tipo de pruebas de determinan solamente las cargas que son más básicas o fundamentales tales como la compresión, tensión y flexión esta última es más que nada una combinación de las dos cargas anteriormente mencionadas. Las pruebas descritas son de las que mayor sollicitación hay en este material o para lo que fueron diseñados o en base a los resultados que arrojan en las distintas pruebas y que tan aptos son en cada una de estas.

3.5.1. Compresión Simple en Morteros.

La compresión en morteros se considera una de las pruebas fundamentales ya que los morteros están bajo la sollicitación de esta carga permanentemente y deben de estar apropiadamente diseñados bajo esta condición porque un mortero que soporte menor carga de la solicitada va a comenzar a fallar. La compresión consiste en un esfuerzo normal que consiste en una fuerza que se aplica de manera perpendicular al área de interés lo que ocasiona que las muestras en este caso de mortero vayan teniendo una deformación del tipo de acortamiento, en otros términos la compresión se refiere a cuando un elemento sufre un aplastamiento. (Askeland & Wright, 2017) Para la realización de la prueba en compresión de morteros se requiere de elementos o especímenes en forma de cubos o cilindros que la fuerza se le debe de aplicar en un área que para el caso de los cilindros el área de contacto corresponde al área del círculo de este cilindro que para el caso de los cilindros se obtiene el diámetro de la sección circular y con este dato se obtiene el área, en el caso de los cubos el área de contacto corresponde al área de una de sus caras en donde se le toman la longitud de las aristas correspondientes al área del cubo. En ambos casos el área es indispensable porque lo que se quiere obtener es un esfuerzo. Una vez obtenida el área de las muestras se colocan las muestras de una por una en una prensa que tenga la capacidad de hacer fallar las muestras que en dicha prensa debe de contener un manómetro que es una herramienta que indica la presión con que es sometida la muestra y con esto se identifica la presión ejercida sobre la muestra y en base a esta carga una vez que haya bajado la lectura del manómetro es cuando nos indica que la muestra ya falló además de que la muestra debe de presentar esquirlas en la parte media producto de la falla o que tenga fracturas

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

significativas. La prensa usada en este caso fue una prensa de marca ELVEC ® del tipo electrónica mecánica.



Figura 57. Determinación de las dimensiones de los especímenes de forma cúbica. Por Luis Alberto González



Figura 58. Espécimen de cubo sometido a compresión. Por Luis Alberto González

Para el caso de los cubos la ruptura tiene cierta tolerancia en cuanto al tiempo de su ruptura que es el siguiente (NMX-C-061-ONNCCE-2015, 2015):

Tabla 3. Tiempo de tolerancia en cuanto a la ruptura de cubos.

Edad de cubos a ruptura	Tolerancia de tiempo de ruptura
1 día	30 minutos
3 días	1 hora
7 días	3 horas
28 días	12 horas

En cubos la ruptura es más sencilla ya que requiere que la prueba se haga en una superficie totalmente lisa y en el caso de los cubos se tiene una cara que es la de llenado y esta cara resulta que es la más rugosa en cuanto a sus cinco similares por lo que se tiene que probar los cubos en donde se presentan estas caras que sean lo más paralelas posible ya que los cubos no son del todo perfectos y tienen cierta incongruencia o están disparejas ya que sus aristas no miden exactamente la misma distancia y se pretende que la carga debe de aplicarse de manera ortogonal a el área de contacto buscándose las caras que contengan esta condición.

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

Otro elemento que se le puede aplicar la carga es a los cilindros que por lo regular en estos no debe de haber tanto problema para encontrar una cara donde aplicársele la carga puesto que en su área de la sección circular sin embargo en este caso por solo contener dos caras circulares una de ellas es la base mientras que en la otra corresponde a la cara de llenado y se tiene que lograr una superficie más plana en este caso. Para este fin lo que se le hace a los cilindros es un previo cabeceo el cual consiste en colocar en los especímenes cilíndricos un material que haga la función de poner las caras del espécimen paralelas y lisas a la vez y este material debe de tener una resistencia similar a las muestras de mortero. Para este caso lo que se usa es el azufre que es un elemento que cuando la temperatura es adecuada que para este caso tiene que ser mayor a la temperatura del ambiente se pone líquido, se coloca en un molde y al igual que la muestra de mortero se colocan en el molde hasta que el azufre se solidifique lo cual sucede cuando este se pone a temperatura ambiente muy similar a la parafina de las velas comunes.

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO



Figura 59. Determinación del diámetro de la sección circular del espécimen cilíndrico. Por Luis Alberto González



Figura 60. Cabeceo de los cilindros en su sección circular. Por Luis Alberto González



Figura 61. Muestra de cilindro sometida a compresión. Por Luis Alberto González

Para el cálculo del esfuerzo es con la siguiente ecuación:

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

Ec: Esfuerzo a compresión en kgf/cm².

W: Carga máxima aplicada a compresión en kgf.

A: Área de la sección transversal en cm²

3.5.2. Esfuerzo a tensión en morteros.

El esfuerzo a tensión de los morteros corresponde a otro tipo de cargas que pueden sufrir los morteros pero en este caso corresponde a una carga axial a la que se someten los morteros inversamente a la compresión. Para el caso de la compresión los morteros sufren una carga que hace que los morteros se vayan deformando a modo de contracción, en este

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

caso los morteros se van deformando de modo que estos sufren un estiramiento el cual el mortero debe de soportar hasta cierto punto y después falla, esta prueba se hace con unos especímenes en forma de cacahuates que se les denomina briquetas, esta propiedad en los morteros es de gran utilidad ya que regula la cohesión que adquieren los morteros y tienen cierta relación con la adherencia que es una de las cuestiones que rigen más sobre el uso de este material ya que es cómo funciona el mortero que se va adheriendo a elementos prefabricados para hacer muros o cimientos, las briquetas son especímenes que están diseñados para que a modo de unas mordazas que se encuentran en una máquina especial llamada máquina de Michaelis la cual consta de un mecanismo en el cual se somete las muestras en tensión después de haber habilitado la muestra en la máquina, a las briquetas se le toman sus medidas en la parte más desfavorable lo que es ancho y espesor para que al colocar los especímenes en la máquina y calibrarla esta se le coloca unos objetos a manera de peso, para este caso se usaron municiones que sirven muy bien para este objetivo lo que hace es como en gran cantidad si se genera un peso considerable puede hacer fallar las briquetas.



Figura 62. Determinación de las dimensiones de la sección más desfavorable en las briquetas. Por Luis Alberto González



Figura 63. Briqueta sometida a tensión en la máquina tipo Michaelis. Por Luis Alberto González

Para calcular la resistencia de los especímenes a tensión se requiere de la siguiente ecuación:

$$Et = \frac{Pm * 50}{A}$$

Donde:

Et: Esfuerzo máximo a tensión en kgf/cm^2 .

Pm: Peso de las municiones o material que ocasione el peso en kgf.

A: Área de la sección transversal más desfavorable en cm^2 .

En cuanto al área más desfavorable se refiere a aquella área de la sección de la briqueta que corresponde a su sección más esbelta que se supone que es por donde debe de fallarse la sección por tener menor parte de material que pueda soportar.

3.5.3. Flexión en morteros.

Esta prueba es una combinación de las dos pruebas antes mencionadas ya que las muestras se prueban de tal manera que en una parte se comprimen y en otra se tensionan por lo que esta prueba determina que tan frágiles son los morteros o que tanta resistencia tiene una muestra de mortero a la ruptura y una de las aplicaciones que puede tener esta prueba es medir la resistencia que tienen los morteros a un esfuerzo cortante que hace que el mortero sufra ruptura. Para esta prueba se requiere de especímenes en forma prismática a las cuales se les toman sus dimensiones que son largo, ancho y espesor en donde al largo de la sección de la muestra se le marca en el centro de la muestra o espécimen y a una distancia de 2 a 2.5 cm de las orillas de la muestra. Se deben de marcar a esta distancia ya que es en donde se le colocan los apoyos que son los causantes de hacer que la muestra falle que lo que hace es que los especímenes se comiencen a partir y que haya una grieta en el centro quiere decir que la muestra ya falló por lo que se deduce que la muestra se rompe.

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO



Figura 64. Viga sometida a flexión. Por Luis Alberto González



Figura 65. Ruptura del espécimen. Por Luis Alberto González

Una de las cosas que se obtienen con esta prueba es el módulo de ruptura que es el factor que determina con la siguiente ecuación:

$$M.R. = \frac{3WL}{2BD^2}$$

Donde:

M.R.: Modulo de ruptura en kgf/cm^2 .

W.: carga en kgf.

L.: Longitud del claro en cm.

B: Ancho de la sección transversal en cm.

D: espesor en cm.

Para la longitud del claro es aquella en la que se determina de la longitud entre apoyos más no la longitud total de la muestra.

4. Resultados Obtenidos

4.1. Resultados de las pruebas del cemento.

4.1.1. Resultados de la consistencia normal del cemento.

La prueba se realizó a la misma hora con un día de diferencia, con el fin de hacer más representativas las condiciones del clima en donde se usó cemento portland compuesto de 30 Mega Pascales de resistencia, resistencia a edades tempranas y resistente a los sulfatos

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

(CPC 30R RS), la prueba de consistencia normal se realizó a la pasta utilizando agua potable para la mezcla control o testigo y para la mezcla analizada se sustituyó el agua por mucilago de maralfalfa, arrojando los siguientes datos:

Tabla 4. Resultados de la prueba de consistencia.

	Testigo	EM
Consistencia normal	32%	31%

4.1.2. Resultados de los tiempos de fraguado del cemento.

Los tiempos del fraguado son pruebas que se realizaron a las mezclas que fueron elaboradas en la prueba de consistencia normal, en donde para ambos casos se comenzó a tomarse el tiempo del fraguado a partir de las 12 horas del día, donde primero se encontró el fraguado inicial y posteriormente se determinó el fraguado final, arrojando los siguientes resultados:

Tabla 5. Resultados de los tiempos de fraguado.

	Testigo	EM
Fraguado inicial	3 horas, 50 minutos	5 horas, 30 minutos
Fraguado final	7 horas, 30 minutos	10 horas

4.2. Resultados de la caracterización de los agregados.

4.2.1. Muestreo y cuarteo de los materiales.

El material que se empleó para la realización de todas las mezclas es de origen volcánico procedente del banco de Joyitas, localizado en la comunidad de Cerritos en el occidente de la ciudad de Morelia. El material se llevó al laboratorio de materiales en una camioneta tipo pick up, la cual se cargó con un cargador frontal y se descargó mediante palas. Se almaceno y posteriormente se le realizaron distintas pruebas de calidad, con la finalidad de analizar su utilidad para la fabricación de morteros.

Primero se obtuvo una muestra representativa del material, después se redujo la cantidad muestreada mediante el método de cuarteo con palas (método manual), ya que la muestra requerida de arena es de 100 kilogramos aproximadamente, con esta cantidad se realizaron pruebas de masas volumétricas del material. Después se utilizó el método de cuarteo de

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

manera mecánica mediante el cuarteador, donde se dividió el material en porciones representativas más pequeñas para la realización de pruebas de absorción, densidad, granulometría, etc.

4.2.2. Resultados de masa volumétrica seca y suelta.

Para la prueba de masa volumétrica seca y suelta de la arena se utilizaron alrededor de diez kilogramos de material, para este caso se realizó la prueba por duplicado, arrojando los siguientes resultados:

Tabla 6. Resultados de la masa volumétrica seca y suelta

Muestra	Masa de arena más Recipiente (g)	Masa de arena (g)	Masa Volumétrica Seco Suelto (g/cm^3)
1	5700	3755	1365
2	5800	3855	1402

Para estas pruebas se utilizó una tara metálica con una masa de 1.945 kilogramos y un volumen de 2750 centímetros cúbicos. Se determinó el promedio de las dos masas volumétricas secas sueltas, obteniendo un resultado de: $1.383 \text{ g}/\text{cm}^3$.

4.2.3. Resultados de masa volumétrica seca y varillada.

En esta prueba se utilizó el mismo montón de arena de la prueba anterior, sin embargo la diferencia es que cada capa de arena se varillo con una varilla punta de bala, en donde se encontraron los siguientes resultados:

Tabla 7. Resultados de la masa volumétrica seca y varillada

Muestra	Masa de la arena más el recipiente (g)	Masa de la arena (g)	Masa Volumétrica seca y varillada (g/cm^3)
1	6100	4155	1511
2	5900	3955	1438

Al igual que la prueba anterior se utilizó el mismo recipiente en la realización de la prueba, ya que con esto se hace la comparativa de la cantidad de material usado en las distintas

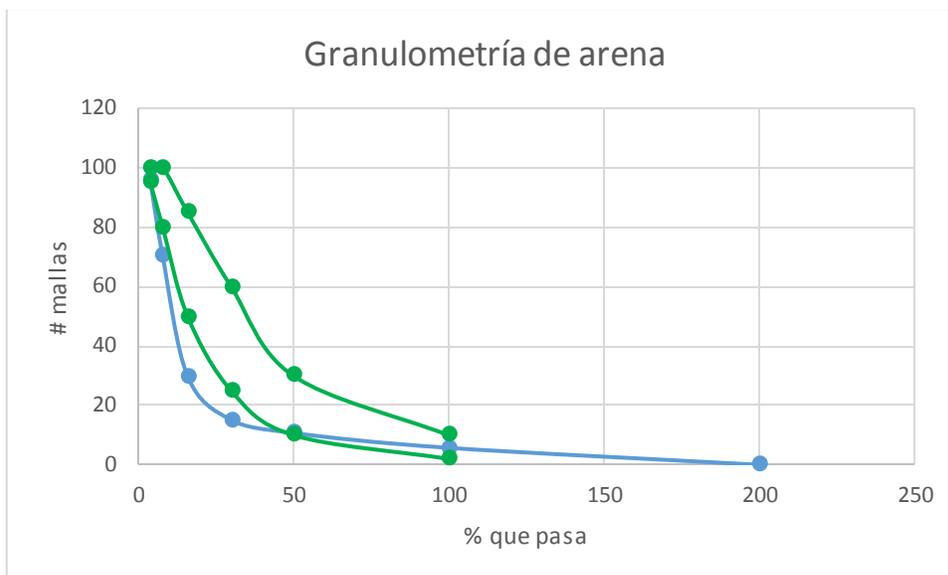
ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

pruebas y de la cantidad de vacíos que hay entre partículas, y por las mismas razones de que no hay mucho error en la obtención de los datos solamente se requirieron de dos pruebas que se realizaron. La norma para ambos casos de masa suelta como varillada estipula que mínimo debe de tener una masa de 1248 gramos sobre centímetro cúbico. Para este caso se obtuvieron un promedio de 1474.5 gramos sobre centímetro cúbico.

4.2.4. Resultados de la granulometría.

En el caso de la granulometría se realizaron dos pruebas, obteniéndose la siguiente grafica de dispersión de tamaños.

Grafica 1. Distribución de la granulometría



En esta prueba se busca la distribución de los materiales, y al observar los límites se encontró que no existe una buena distribución, es decir, carece en algunos tamaños. Sin embargo en este caso podemos hacer 2 cosas: usar el material, pero al usar el material se le tiene que agregar más cemento para cubrir los espacios; o hacer compensación de tamaños, para lo cual este método es impráctico debido a que en la construcción no se realiza por cuestiones de tiempo. El módulo de finura obtenido fue de 2.78, el cual se encuentra entre el parámetro de 2.3 a 3.2 recomendado para diseñar las mezclas de concreto.

4.2.5. Resultados de la humedad superficial y absorción.

Para el porcentaje de absorción de agua por parte de los agregados, se realizaron pruebas por duplicado, arrojándonos los siguientes datos:

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

Tabla 8. Resultados del porcentaje de Absorción.

Muestra	Masa superficialmente seca (g)	Masa seca (g)	% de Absorción
1	350	334.1	4.76
2	350	334.1	4.76

Como se puede ver en la tabla anterior en ambas pruebas nos dio exactamente la misma absorción caso curioso porque es muy difícil que el dato se repita.

4.2.6. Resultados de la prueba de densidad.

Para esta prueba se usó un vaso de Chapman, obteniéndose los siguientes datos:

Tabla 9. Resultados de la densidad

Muestra	Volumen del Vaso (cm ³)	Masa del Vaso (g)	Masa de la Arena (g)	Masa del Vaso más Arena más Agua (g)	Densidad (g/cm ³)
1	450	323.2	350	978.7	2.41
2	450	323.2	350	978	2.37

En este caso hubo una pequeña variación en cuanto el resultado de la densidad para la cual se obtuvo un promedio de 2.39 gramos sobre centímetro cúbico.

4.2.7. Resultados de la prueba de colorimetría.

Se hicieron tres pruebas de colorimetría donde se determinó la cantidad de materia orgánica que contiene la arena, esto como prueba cualitativa basada en el color de la tabla colorimétrica, que para todos los casos se encontraban en escala de color número 2 y el límite establecido por la norma establece un valor inferior al número tres, por lo que el agregado tiene poca materia orgánica la cual no generará daño en la mezcla.

4.2.8. Resultados de la prueba de sedimentación.

Se realizaron tres pruebas encontrándose que existe gran cantidad de finos, por lo que no cumple en ninguno de los casos en cuanto el nivel de sedimentos, así pues se debería hacer un lavado de los agregados previo a su uso, ya que una cantidad de material fino en exceso en una mezcla es muy perjudicial ya que conlleva a que estas tengan reacciones con el cemento lo que ocasiona las fallas o grietas, sin embargo en obra no es factible hacerlo..

4.3. Parámetros para diseño de las mezclas.

4.3.1. Diseño por fluidez.

Para el caso del diseño por fluidez primeramente se determinó en el testigo y nos arroja los siguientes datos: para una relación agua/cemento de 0.75 el resultado fue de 114% en la prueba de testigo. En el caso de las muestras hechas en con el material E.M. con una relación agua/cemento de 0.65 dio de 106%, por lo que se hizo otra con la relación/agua cemento de 0.7 para lo que el resultado fue de 114% en donde se usaron de parámetros la relación de 0.75 y de 0.65 para una promedio de 0.7 y con esta relación agua/cemento fue con la que se realizaron los especímenes.

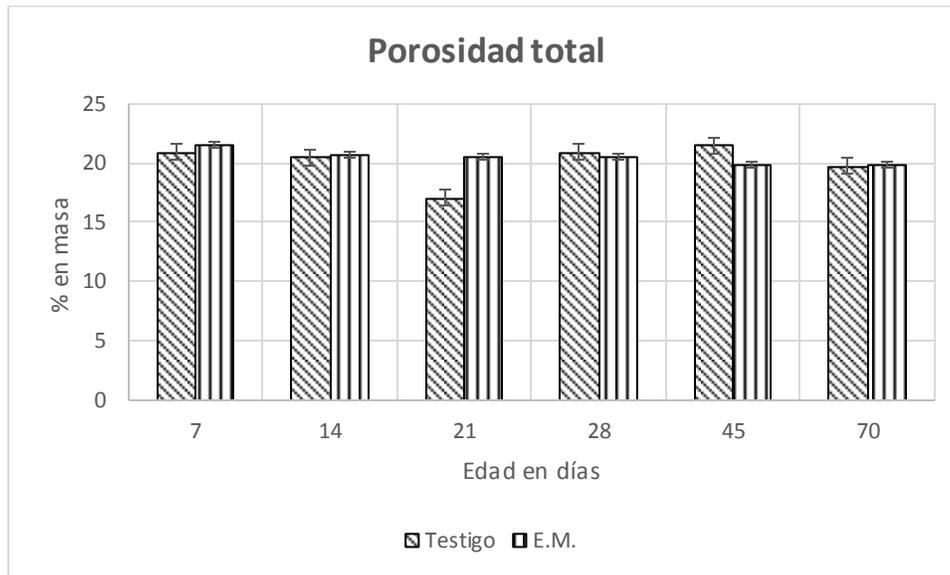
4.4. Resultados de las pruebas no destructivas.

4.4.1. Resultados de la porosidad total.

Se obtenía la masa superficialmente seca, después la masa sumergida y al final la masa seca colocando los especímenes a secar en el horno a 60° Celsius en un periodo de 7 días, de los especímenes dándonos los siguientes resultados:

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

Grafica 2. Resultados de la porosidad total.



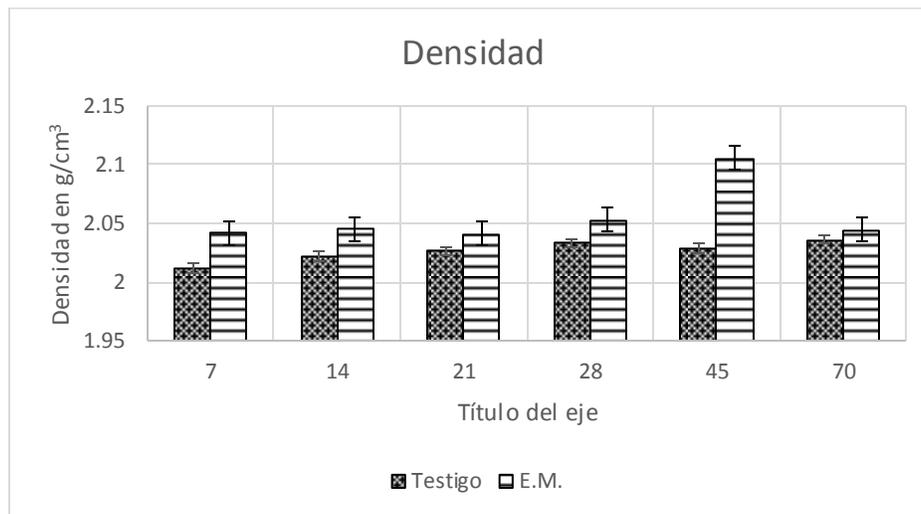
Para esta prueba lo que se demuestra es que la porosidad en la mezcla que tiene el mucilago en las primeras edades tiene una significativa cantidad mayor de porcentaje de porosidad para lo cual se va compensando cuando va transcurriendo el tiempo en la cual se deduce que a edades tempranas la mezcla que tiene mucilago no se consolida por completo sino a partir de los 28 días cuando presenta una consolidación de la mezcla mayor comparada con la testigo.

4.4.2. Resultados de la densidad.

Para esta prueba se obtuvo la masa de los especímenes cúbicos y después se sumergían en un picnómetro durante 10 minutos, lo cual originaba un desagüe del picnómetro que se captaba en un vaso de precipitado, para después determinar el volumen desalojado producto de la muestra sumergida, posteriormente se aplica el cálculo de Masa/Volumen arrojando estos resultados:

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

Grafica 3. Resultados de la densidad en morteros.



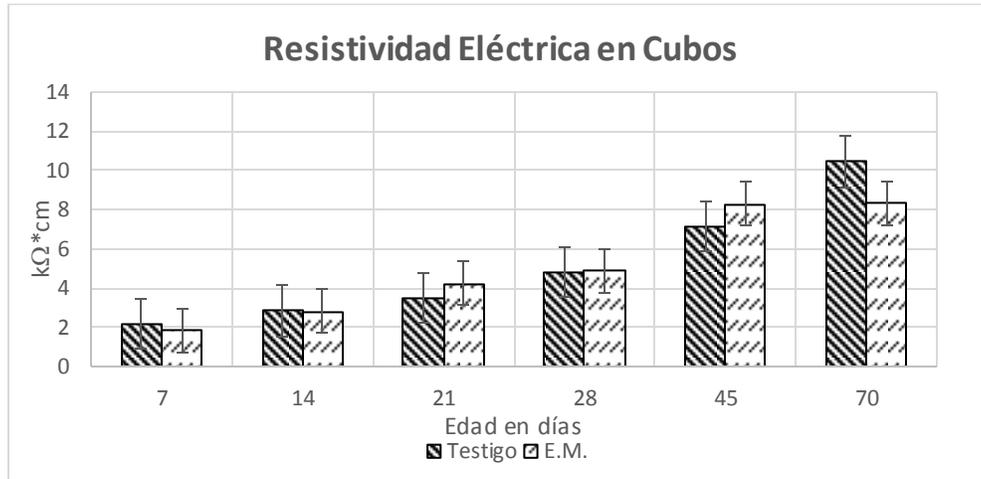
En esta prueba se determina que en todos los casos la mezcla que contiene el mucilago es más densa en todas las edades para lo que se determina que la mezcla adquiere más densidad al agregarle el mucilago que lo que básicamente contiene son azúcares lo que hace densificar la materia destacando que a la edad de 45 días corresponde a la mezcla de mucilago o extracto de maralfalfa que más diferencia de densidad posee.

4.4.3. Resultados de la Resistividad Eléctrica.

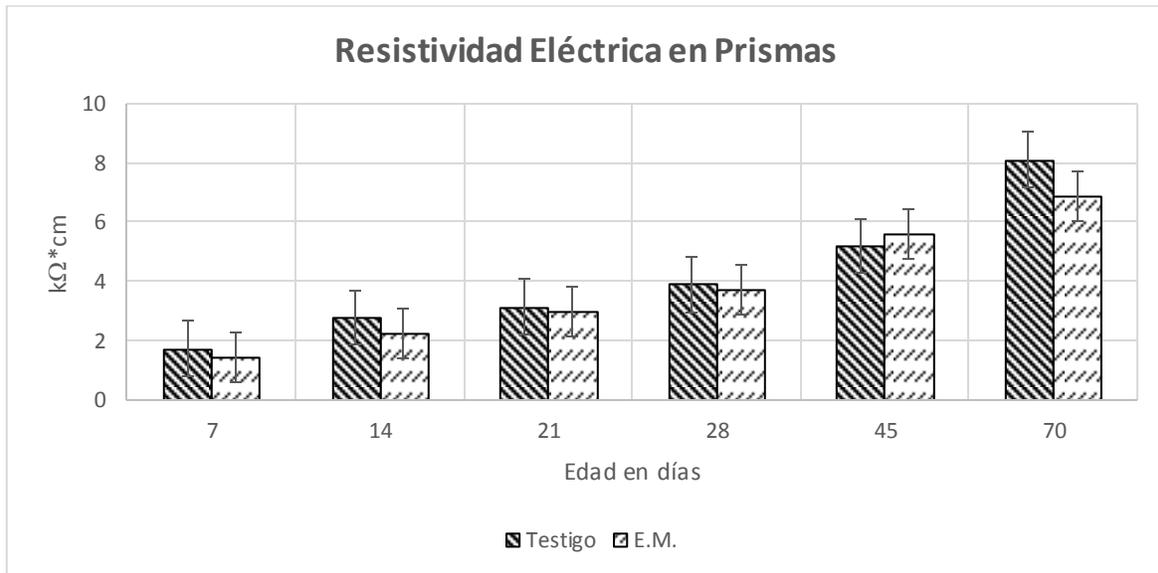
Esta prueba se determinó a los siguientes especímenes: cubos, prismas y cilindros, arrojando los siguientes resultados:

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

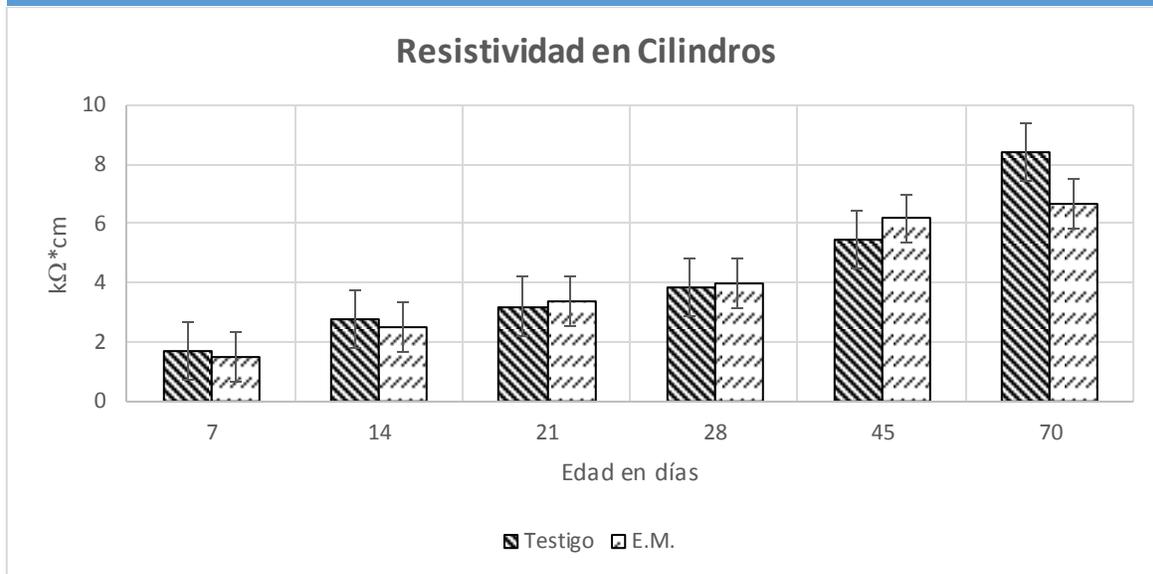
Grafica 4. Resultados de la resistividad eléctrica en cubos



Grafica 5. Resultados de la resistividad eléctrica en prismas



Grafica 6. Resultados de la resistividad eléctrica en cilindros



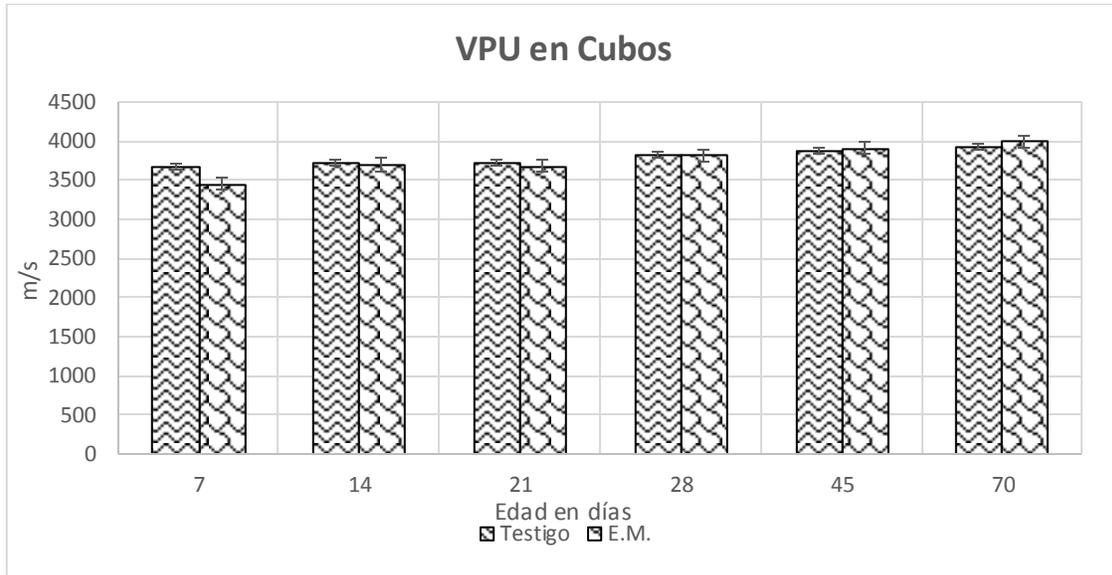
Los tres especímenes que se analizaron presentan el mismo comportamiento resistividad eléctrica en tendencia ascendente para ambas mezclas, sin embargo se observó que a la edad de 70 días la mezcla con el extracto presentó una ligera desventaja respecto a la testigo, aunque se esperaba que fuera lo contrario debido al comportamiento que había presentado en edades menores. También es importante señalar que los resultados de las mezclas a la edad de 28 días presentan un alto riesgo a la corrosión, ya que los parámetros establecidos indican que para una mezcla de baja probabilidad de corrosión, los valores permisibles son mayores a 10 $k\Omega \cdot cm$, lo cual en la mayoría de los casos no se cumple ni a la edad de 70 días para ambas mezclas.

4.4.4. Resultados de la Velocidad de Pulso Ultrasónico (VPU).

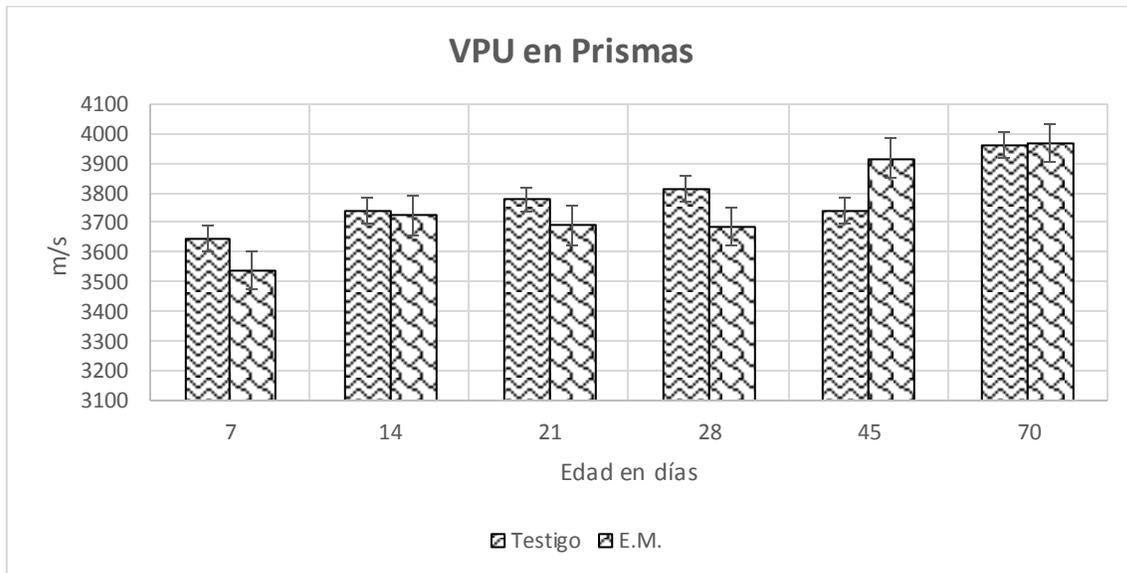
En este caso se analizaron cubos, prismas y cilindros, arrojando los siguientes resultados:

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

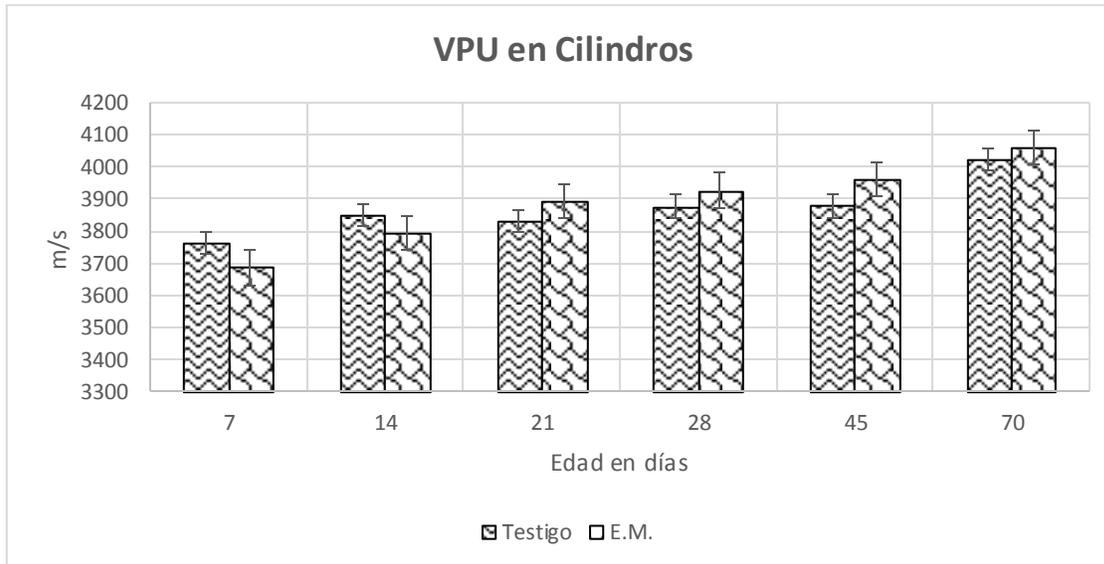
Grafica 7. Resultados de la velocidad de pulso ultrasónico en cubos



Grafica 8 Resultados de la velocidad de pulso ultrasónico en prismas



Grafica 9 Resultados de la velocidad de pulso ultrasónico en cilindros.



Esta prueba evalúa la durabilidad de la mezcla en base a la porosidad de cada elemento, los resultados obtenidos indican un mejor comportamiento a edades tempranas de la mezcla testigo, mientras que a edades tardías la mezcla de prueba E.M. superó en su totalidad a la mezcla testigo, lo cual indica que existe una densificación de la matriz cementante. Así mismo se observa que los resultados tanto de una mezcla como de la otra tienen un comportamiento adecuado entre mayor es su edad, lo cual es lógico debido a que al paso de los días se densifica el elemento.

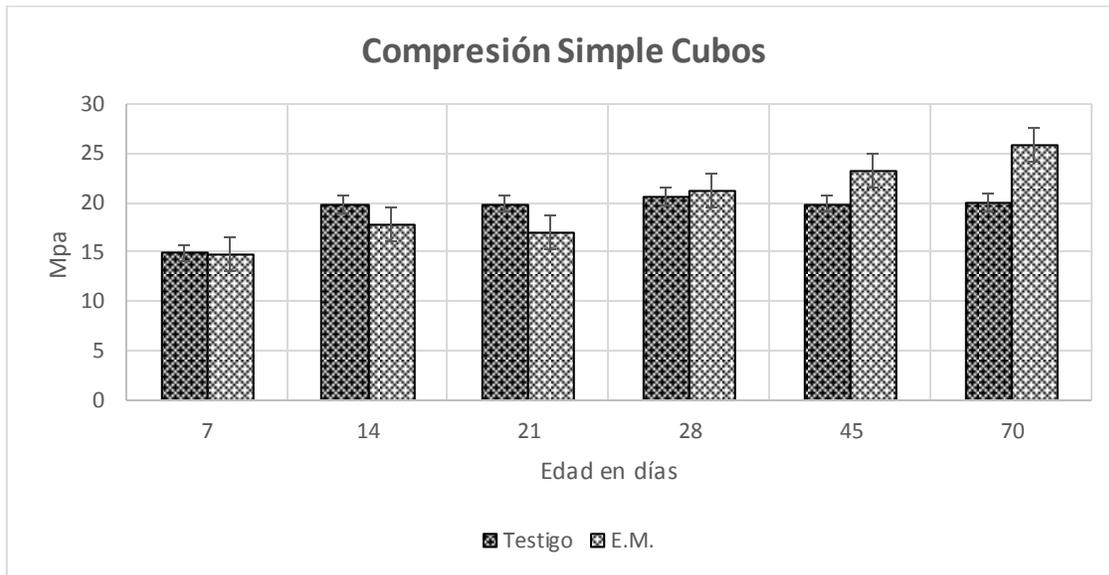
4.5. Resultados de las pruebas destructivas.

4.5.1. Resultados de Compresión Simple en Morteros.

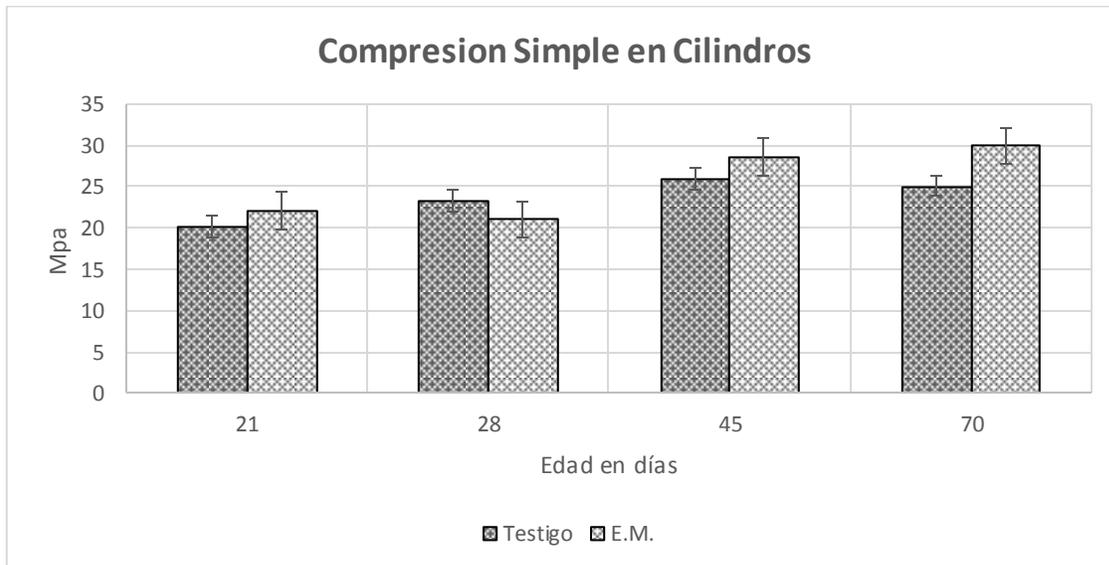
Esta prueba se basa en la carga bajo un área del elemento, por lo que se realizaron a cubos y cilindros, los cilindros se analizaron a partir de los 21 días y los cubos a partir de los 7 días, por motivos de la cantidad de especímenes colados obteniendo así los siguientes datos:

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

Grafica 10. Resultados en compresión simple en cubos



Grafica 11. Resultados en compresión simple en cilindros



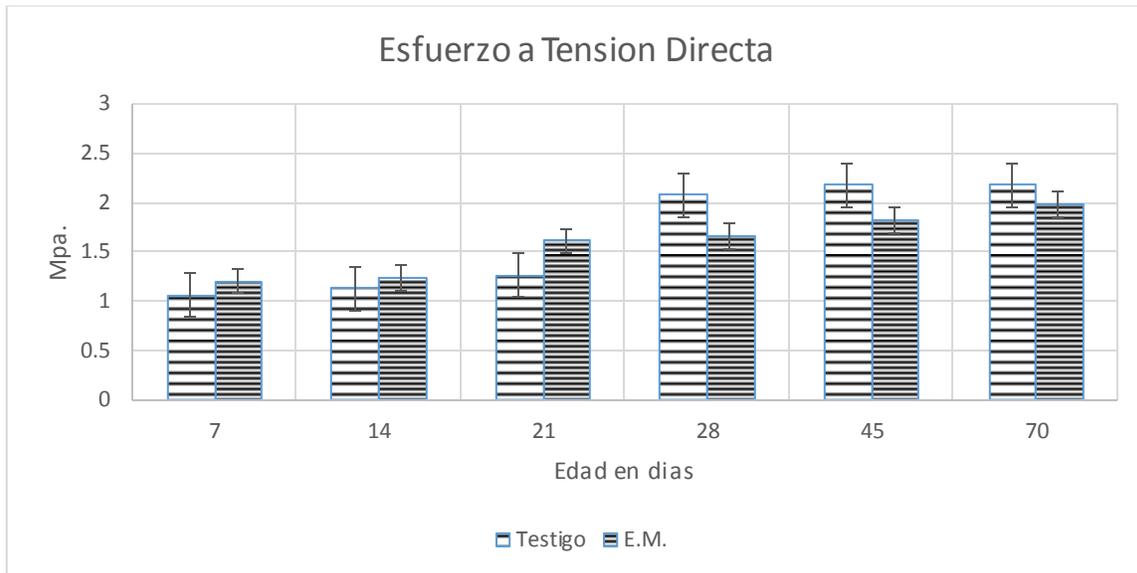
El comportamiento mecánico a compresión simple a edades inferiores a 28 días es muy variable en ambas mezclas, sin embargo con el paso del tiempo el mucilago incrementó significativamente su resistencia a compresión tanto en cubos como en cilindros, respecto a la mezcla testigo; por lo que además de funcionar como retardante también presenta un comportamiento mecánico adecuado.

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

4.5.2. Resultados del Esfuerzo a Tensión en Morteros.

Esta prueba consiste en una tensión del área más crítica del elemento, para lo cual se utilizó la máquina de Michaelis y se obtuvieron los siguientes resultados:

Grafica 12. Resultados de la tensión directa



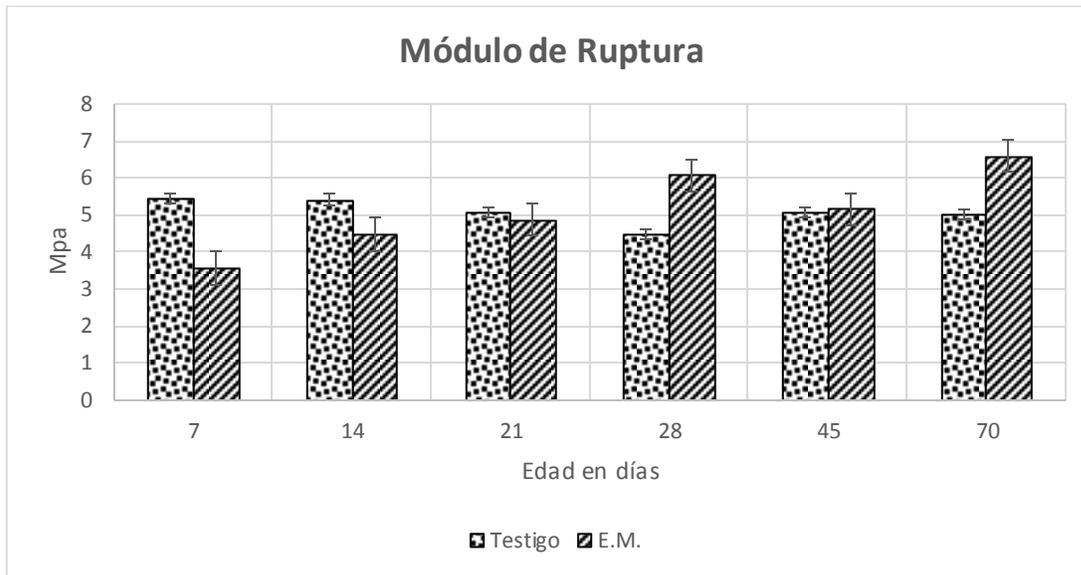
Los morteros con el mucilago a edades tempranas tienen más cohesión entre sus elementos, por lo que a estas edades puede que resistan menos a compresión, sin embargo a edades tardías el comportamiento mecánico cambió resultando la mezcla testigo superior a tensión.

4.5.3. Resultados del Esfuerzo a Flexión en morteros.

Esta prueba consistió en la aplicación de carga al centro medio del elemento hasta su ruptura, para lo cual se usó la máquina universal de pruebas Forney ®. Arrojando los siguientes resultados:

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

Grafica 13. Resultados de la flexión.



La mezcla que contiene el extracto de maralfalfa adquiere más resistencia a la ruptura a partir de los 28 días por lo que es más resistente con respecto a las mezclas testigo a edades tempranas, sin embargo esta propiedad se presenta a partir de los 28 días por lo que su resistencia son superiores.

Conclusiones

Al mucilago en estudio se le realizaron varias mediciones de pH, obteniéndose un pH de 8 en el mismo día de su elaboración y fabricación de la mezcla, lo cual pudo haber afectado en el comportamiento mecánico de los elementos, sin embargo la mezcla con todos sus componentes presentó un pH de 12 que se clasifica como alcalino o básico es decir adecuado. La mezcla con el extracto de maralfalfa fragua en mayor tiempo a la mezcla testigo, cumpliéndose lo que dicen la literatura, en donde los hidratos de carbono actúan a modo de retardantes del fraguado, otra manera de identificar esto es el aumento en el tiempo de fraguado, lo cual coincide con el aumento de resistencia mecánica a edades tardías en la mezcla con mucilago, y caso contrario la testigo. La porosidad es un parámetro inversamente proporcional a la velocidad de pulso, lo cual esta relacionados con la materia que se encuentra internamente en los especímenes, para el caso de la densidad, la mezcla con el mucilago presento mejores valores de densidad respecto a la mezcla testigo, ya que densifica la matriz cementante debido a que los azucars retienen el agua haciendo más

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

lenta la reacción con el cemento reduciendo los poros capilares e incrementando la densidad. En el caso de la resistividad eléctrica los resultados indican que existe un alto riesgo a la corrosión de estructuras embebidas en este tipo de morteros, debido a que las lecturas indican resultados inferiores a $10 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}$ en todas las edades de prueba inferiores a 70 días para ambas mezclas. Los resultados de velocidad de pulso ultrasónico indican que son mezclas muy buenas dando una oscilación en su comparación de un 2% entre ambas mezclas, encontrándose a la edad de 7 días la oscilación mayor del 7%; dando parámetros de VPU que van de los 3500 a 4000 m/s, lo cual indica que son mezclas muy durables, siendo un poco superior la mezcla con el extracto a edades tardías. Una de las cuestiones más importantes que se vio con el mucilago es que al emplearlo se reduce en un 5% la relación agua cemento, lo cual beneficia a las mezclas. En cuanto a la resistencia a compresión a la edad de 7 días la comparación indica que la mezcla testigo es mejor en un 36% que la mezcla con el extracto, sin embargo a la edad de 70 días la mezcla con extracto de maralfalfa supera a la mezcla testigo en un 32%, mientras que la prueba a tensión presento resultados contrarios. Además con toda la información analizada puedo concluir que la adición de maralfalfa pudiera utilizarse como sustitutivo de la masa de cemento, lo cual generaría un beneficio ambiental y un ahorro económico de acuerdo a la cantidad de cemento utilizada, sin modificar sus propiedades físico-mecánicas resultantes. Otro aspecto importante es que para la producción de la planta maralfalfa se requiere de una gran extensión de terreno, sin embargo la inversión única, porque es un material que se planta y crece de manera exagerada por lo que solo requiere de cortarse y volverá a crecer, por lo que es una buena inversión que traería beneficios a la construcción.

Bibliografía

- Alvarez Galindo, J. I., Marín Perez, A., & García Casado, P. (s.f). Historia de los Morteros. *Materiales y Tecnicas*.
- Askeland, D. R., & Wright, W. J. (2017). *Ciencia e ingeniería de los materiales*.

ADITIVO ORGÁNICO FLUIDIFICANTE Y RETARDANTE DEL FRAGUADO EN MEZCLAS DE MORTERO BASE CEMENTO

- De la Fuente Moreno, E. (2012). MEDICION DE LA BIOMASA FORRAJERA Y ALGUNOS VALORES NUTRICIOS DE LOS TALLOS Y HOJAS DEL PASTO MARALFALFA (PENNISETUM SP) EN CHALCO, ESTADO MEXICO.
- Jurado Guerra, P., Lara Macias, C., & Saucedo Terán, R. A. (2013). PAQUETE TECNOLOGICO PARA LA PRODUCCION DE MAIZ FORRAJERO EN CHIHUAHUA.
- Martinez Montoya, M. C. (1999). Aditivos para el Concreto Hidraulico. 205.
- Neville, A. M. (1999). Tecnología del concreto.
- NMX-C-030-ONNCCE-2004. (2004). *Industria de la construcción - Agregados- Muestreo de agregados.*
- NMX-C-061-ONNCCE-2015. (2015). *Industria de la Construcción- Cementantes hidraulicos- Determinacion de la resistencia a la compresion de cementantes hidraulicos.*
- NMX-C-073-ONNCCE-2004. (2004). *Industria de la construcción- Agregados- Masa Volumetrica- Metodo de prueba.*
- NMX-C-077-1997-ONNCCE. (1997). *Industria de la Construcción- Agregados para Concreto- Analisis Granulometrico- Metodo de Prueba.*
- NMX-C-088-1997-ONNCCE. (1997). *Industria de la Construcción- Agregados- Determinacion de impurezas organicas en el agregado fino.*
- NMX-C-165-ONNCCE-2014. (2014). *Industria de la construcción- Agregados- Determinacion de la densidad relativa y Absorcion de agua del agregado fino- Metodo de ensayo.*
- NMX-C-170-1997-ONNCCE. (1997). *Industria de la construcción- Agregados- Reduccion de las muestras de agregados obtenidas en campo al tamaño requerido para las pruebas.*

- Steven H. Kosmatka, B. K. (2004). Diseño y Control de Mezclas de Concreto. En B. K. Steven H. Kosmatka, *Diseño y Control de Mezclas de Concreto* (pág. 459). Chicago: EB201.
- Trocónis de Rincon, O., Helene, P., Andrade, C., Diaz, I., & Romero de Caruyo, A. (1998). *Manual de Inspeccion, Evaluacion y Diagnostico de Corrosion en Estructuras de Hormigon Armado*.
- Vásquez, B., & Corrales, S. (2017). Industria del cemento en Mexico: Análisis de sus determinantes . *Problemas del desarrollo*.