



UNIVERSIDAD MICHOACÁN SAN NICOLÁS DE HIDALGO



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS PROFESIONAL

“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

ADÁN CASTREJÓN MARINO

ASESORA:

Dra. ELIA MERCEDES ALONSO GUSMÁN

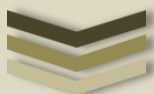
CO-ASESORES:

M. I. SANDRA DEL CARMEN ARGUELLO HERNÁNDEZ

ING. LUIS COLÍN VELÁZQUEZ

M. I. NOEL DÍAZ GONZALEZ

MORELIA MICHOACÁN. JULIO DE 2019





**“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado
con almidón de arroz”**



ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLA.....	IV
ÍNDICE DE FIGURAS	V
DEDICATORIAS.....	VII
AGRADECIMIENTOS.....	VIII
I. RESUMEN	IX
II. ABSTRACT	X
III. JUSTIFICACIÓN	XI
IV. OBJETIVO GENERAL	XV
V. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	XV
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	3
2.1. Cemento.....	3
2.1.1. Producción del cemento Portland	3
2.1.2. Clasificación del cemento	5
2.1.3. Propiedades del cemento	6
2.1.3.1. Propiedades Físicas	7
2.1.3.2. Propiedades Químicas	8
2.1.3.3. Propiedades Mecánicas	9
2.1.4. Cemento utilizado en la Investigación.....	10
2.2. Agregados Pétreos.....	12
2.2.1. Clasificación de los Agregados Pétreos	13
2.2.2. Propiedades de los agregados.....	15
2.2.2.1. Propiedades físicas	15
2.2.2.2. Propiedades Químicas	16
2.2.2.3. Propiedades Mecánicas	16
2.2.3. Agregado utilizado en la investigación.....	17
2.3. Agua	18
2.3.1. Especificaciones del agua en la construcción	19
2.3.2. El agua utilizada en la investigación.....	20
2.4. Morteros.....	20
2.4.1. Características deseables de un mortero	21
2.4.2. Tipos de Morteros.....	22
2.5. Adiciones.....	23
2.5.1. Tipos de adiciones	23
2.6. Material en estudio como adición al mortero.....	24
2.6.1. Almidón	25
2.6.2. Almidón de arroz	25
2.6.2.1. Morfología del arroz	27
2.6.2.2. Polímeros principales del almidón de arroz	28
2.6.2.3. Almidón utilizado en la investigación	28
2.7. Aditivos.....	29
2.7.1. Tipos y usos (ASTM C494/C494M, 2017):.....	30
3. METODOLOGÍA	31
3.1. Muestreo y pruebas a agregados utilizados	31
3.1.1. Cemento Portland Ordinario.....	31



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



3.1.1.1.	Densidad aparente del cemento (Navarro Sánchez, Martínez Molina, & Espinoza Mandujano, 2011).	32
3.1.1.2.	Consistencia normal del cemento.	35
3.1.1.3.	Método de prueba estándar para el tiempo de fraguado del cemento hidráulico.	38
3.1.2.	Agregado fino (arena).	39
3.1.2.1.	Muestreo de agregados pétreos.	41
3.1.2.2.	Práctica estándar para reducir muestras de agregados a tamaños de prueba (Cuarteo).	42
3.1.2.3.	Método de prueba estándar para la masa unitaria seca y suelta en agregados (MVSS).	44
3.1.2.4.	Método de prueba estándar para la masa unitaria seca y varillada o compactada en agregados (MVSV).	46
3.1.2.5.	Método de prueba estándar para el análisis granulométrico de agregados finos y gruesos.	48
3.1.2.6.	Método de prueba estándar para la densidad relativa y la absorción del agregado pétreo fino.	52
3.1.2.7.	Método de prueba estándar para la densidad relativa y absorción del agregado fino.	55
3.1.2.8.	Determinación de impurezas orgánicas en el agregado fino.	57
3.1.2.9.	Determinación de partículas ligeras.	60
3.1.2.10.	Método de prueba estándar para terrones de arcilla en agregados.	61
3.1.2.11.	Método de prueba estándar para materiales finos que pasan la malla No. 200 en agregados por lavado.	64
3.1.3.	Agua.	66
3.2.	Pruebas realizadas al mortero fresco.	67
3.2.1.	Prueba de fluidez.	67
3.2.2.	Elaboración de especímenes.	69
3.2.2.1.	Elaboración de cubos.	70
3.2.2.2.	Elaboración de prismas.	71
3.2.2.3.	Elaboración de cilindros.	72
3.2.2.4.	Elaboración de briquetas.	73
3.2.3.	Curado de los especímenes.	74
3.3.	Pruebas realizadas al mortero endurecido.	75
3.3.1.	Pruebas no destructivas.	75
3.3.1.1.	Método de prueba estándar para la velocidad de pulso ultrasónico (VPU).	76
3.3.1.2.	Resistividad Eléctrica.	78
3.3.1.3.	% de Porosidad total.	81
3.3.1.4.	Densidad.	83
3.3.2.	Pruebas destructivas.	84
3.3.2.1.	Resistencia a Compresión.	84
3.3.2.2.	Resistencia a flexión estática (Módulo de ruptura).	86
3.3.2.3.	Resistencia a la tensión indirecta, Prueba Brasileña o Prueba de Joao Carneiro.	87
3.3.2.4.	Resistencia a la tensión directa.	89
4.	RESULTADOS Y DISCUSIONES.	91
4.1.	Caracterización del agregado fino.	91
4.1.1.	Cálculos de pruebas realizadas a la arena.	92
4.2.	Caracterización al Cemento.	96
4.2.1.	Densidad del cemento.	96
4.2.2.	Consistencia normal y tiempos de fraguado del cemento.	96
4.3.	Pruebas realizadas al mortero fresco.	97
4.3.1.	Fluidez.	97



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



4.4.	Pruebas realizadas al mortero endurecido.....	97
4.4.1.	Pruebas no destructivas.....	97
4.4.1.1.	Velocidad de pulso ultrasónico (VPU).....	97
4.4.1.2.	Resistividad eléctrica.....	99
4.4.1.3.	% de Porosidad total.....	101
4.4.1.4.	% de Humedad de absorción.....	103
4.4.2.	Pruebas destructivas.....	105
4.4.2.1.	Resistencia a compresión.....	105
4.4.2.2.	Resistencia a flexión estática (Módulo de ruptura).....	106
4.4.2.3.	Resistencia a la tensión directa.....	107
4.4.2.4.	Resistencia a la tensión indirecta.....	108
5.	CONCLUSIONES.....	110
6.	BIBLIOGRAFÍA.....	113



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1. Producción y consumo nacional de cemento (CANACEM, 2014).....	XII
Tabla 2. Exportaciones e importaciones de cemento en millones de toneladas (International Cement Review, 2016).....	XIII
Tabla 3. Principales entidades productoras de arroz (Atlas Agroalimentario, 2018).....	XIV
Tabla 4. Comparativa del cemento por su desempeño con otras normas (NMX-C-414-ONNCCE, 2017)..	5
Tabla 5. Clasificación del cemento con la actual norma.....	6
Tabla 6. Componentes químicos del cemento (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004).....	8
Tabla 7. Uso y función del agua en la construcción (NMX-C-111-ONNCCE, 2018).....	19
Tabla 8. Valores característicos y límites máximos tolerables de sales e impurezas en el agua (NMX-C-122-ONNCCE, 2018).....	19
Tabla 9. Propiedades requeridas por especificación para cada tipo de mortero (ASTM C270, 2014).....	22
Tabla 10. Composición nutricional del arroz integral y arroz blanco (b6 consultores, 2014).	26
Tabla 11. Norma mexicana y americana que rigen para la caracterización del cemento hidráulico (NMX-C-414-ONNCCE, 2017).	32
Tabla 12. Norma mexicana e internacional que rigen para la caracterización del agregado pétreo (NMX-C-111-ONNCCE, 2018).	40
Tabla 13. Masa mínima de la muestra para su estudio en laboratorio (NMX-C-030-ONNCCE, 2004).....	42
Tabla 14. Rangos aproximados de pesos unitarios de los agregados según el tipo de concreto (CMIC, 2016).	46
Tabla 15. Tabla para el registro de datos obtenidos en el análisis granulométrico.....	49
Tabla 16. Especificaciones de granulometría (ASTM C136, 2014).	51
Tabla 17. Clasificación de arena según el módulo de finura.....	51
Tabla 18. Características del agregado y efectos en el concreto (Hermilio González, 2013).....	60
Tabla 19. Límites máximos de partículas deleznable y carbón o lignito en agregados finos (NMX-C-111-ONNCCE, 2018).....	63
Tabla 20. Materiales que pasa por la criba 0.075 mm “malla # 200” (NMX-C-111-ONNCCE, 2018).....	66
Tabla 21. Criterios de evaluación de velocidad de pulso ultrasónico. (RED DURAR (Durabilidad de la armadura), 2000)	78
Tabla 22. Criterios de evaluación de la resistividad eléctrica (RED DURAR (Durabilidad de la armadura), 2000).....	80
Tabla 23. Criterios de evaluación para % de porosidad. (RED DURAR (Durabilidad de la armadura), 2000).....	82
Tabla 24. Resultados de las pruebas realizadas a la arena.....	91
Tabla 25. Cálculo de la MVSS en la arena.....	92
Tabla 26. Cálculo de la MVS en arenas.....	92
Tabla 27. Cálculo de la Densidad en arenas.....	93
Tabla 28. Cálculo del % de Humedad de Absorción en arenas.....	93
Tabla 29. Cálculo de Material que pasa la Malla # 200.....	93
Tabla 30. Cálculo de Terrones de arcillas en arenas.....	93
Tabla 31. Cálculo de la Composición Granulométrica en arenas 1.....	94
Tabla 32. Cálculo de la Composición Granulométrica en arenas 2.....	94
Tabla 33. Cálculo del Módulo de Finura en arenas.....	95
Tabla 34. Resultado de la Densidad del Cemento.....	96
Tabla 35. Resultados de Consistencia Normal.....	96
Tabla 36. Resultados del Fraguado Inicial y Final del Cemento utilizado (T).....	97



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1. Producción nacional de arroz (Atlas Agroalimentario, 2018).....	XIV
Ilustración 2. Producción del cemento.....	5
Ilustración 3. Tipos de tensión en diferentes especímenes.....	10
Ilustración 4. Cemento utilizado en la investigación.....	11
Ilustración 5. Agregados pétreos (Escalera Saldaña & Franco Medina, 2017).....	12
Ilustración 6. Inventario del banco "Joyitas".....	17
Ilustración 7. Ubicación del banco "Joyitas".....	18
Ilustración 8. Morfología del arroz (Olmos, 2006).....	27
Ilustración 9. Arroz utilizado en la investigación.....	29
Ilustración 10. Aparato utilizado para el molido del arroz.....	29
Ilustración 11. Análisis granulométrico por medio del aparato Raf-Tap.....	29
Ilustración 12. Material retenido en la malla #100, #200 y charola.....	29
Ilustración 13. Mezclado del material a utilizar.....	29
Ilustración 14. Peso del cemento.....	34
Ilustración 15. Se agrega cemento al vaso Le chatelier.....	34
Ilustración 16. Baño de agua final.....	34
Ilustración 17. Consistencia normal del cemento.....	37
Ilustración 18. Determinación del fraguado inicial.....	39
Ilustración 19. Extensión de arena para su secado.....	43
Ilustración 20. Material dividido en 4 partes iguales (Cuarteo).....	43
Ilustración 21. Vaciado de la muestra en el divisor de muestras (Cuarteador de Johnson).....	44
Ilustración 22. Muestra final para hacer pruebas.....	44
Ilustración 23. Llenado del recipiente y posteriormente enrasar.....	45
Ilustración 24. Masa del recipiente con arena.....	45
Ilustración 25. Llenado del recipiente en capas.....	47
Ilustración 26. Masa del recipiente con arena.....	47
Ilustración 27. Vaciado de la muestra en el Raf-tap.....	49
Ilustración 28. Material retenido en cada malla.....	49
Ilustración 29. Partículas del mismo tamaño producen gran cantidad de vacíos que tienen que ser rellenos con pasta de cemento.....	50
Ilustración 30. Partículas de diferentes tamaños ayudan a llenar los vacíos entre ellas, reduciendo así la cantidad de pasta de cemento.....	50
Ilustración 31. Límites de granulometría para concreto y mortero (NMX-C-077-ONNCCE, 1997).....	52
Ilustración 32. Muestra Saturada.....	54
Ilustración 33. Secado para la eliminación de agua en exceso.....	54
Ilustración 34. Masa saturada superficialmente seca.....	54
Ilustración 35. Peso de masa.....	54
Ilustración 36. Masa completamente seca.....	54
Ilustración 37. Muestra superficialmente seca.....	56
Ilustración 38. Peso de la probeta con un vol. inicial (F).....	56
Ilustración 39. Peso de la muestra superficialmente seca (As).....	56
Ilustración 40. Agregando un volumen final (Vf).....	57
Ilustración 41. Peso total (K).....	57
Ilustración 42. Se vacía arena al frasco de biberón.....	58
Ilustración 43. Adición de sosa cáustica.....	58
Ilustración 44. Agitación del biberón.....	59
Ilustración 45. Comparación con el vidrio de color normal.....	59
Ilustración 46. Colorímetro (ASTM C40, 2019).....	59
Ilustración 47. Colocación de agua y arena.....	61
Ilustración 48. Agitado del frasco.....	61
Ilustración 49. Sedimentación de la arena.....	61



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



Ilustración 50. Material retenido en la malla #16.	62
Ilustración 51. Material a saturar.	62
Ilustración 52. Eliminación de terrones de arcillas existentes.	62
Ilustración 53. Material lavado y retenido en la malla #30.	63
Ilustración 54. Secado total del material.	63
Ilustración 55. Peso de la muestra seca.	65
Ilustración 56. Muestra cubierta con agua.	65
Ilustración 57. Muestra completamente lavada.	65
Ilustración 58. Secado de la muestra.	65
Ilustración 59. Peso final de la muestra.	65
Ilustración 60. Agua utilizada en la investigación.	67
Ilustración 61. Mezcla para la determinación de la fluidez.	68
Ilustración 62. Compactación con el pizón en cada capa.	68
Ilustración 63. Medida del mortero extendido.	68
Ilustración 64. Moldes para la elaboración de los especímenes.	70
Ilustración 65. Especímenes realizados en una mezcla.	71
Ilustración 66. Terminación del desmolde de especímenes.	71
Ilustración 67. Curado de los especímenes.	71
Ilustración 68. Moldes para la elaboración de prismas.	72
Ilustración 69. Prismas realizados en una mezcla.	72
Ilustración 70. Cilindros realizados en una mezcla.	73
Ilustración 71. Briquetas realizadas en una mezcla.	74
Ilustración 72. Curado de los especímenes de una mezcla.	74
Ilustración 73. Aparato para la determinación de la VPU.	77
Ilustración 74. Determinación de la VPU en un espécimen de cubo.	77
Ilustración 75. Aparato para la determinación de la resistencia eléctrica.	79
Ilustración 76. Determinación de la resistencia eléctrica en un cilindro.	80
Ilustración 77. Masa del espécimen bajo vacío.	82
Ilustración 78. Masa seca del espécimen.	82
Ilustración 79. Medición del volumen de un espécimen.	83
Ilustración 80. Colocación del espécimen en la prensa hidráulica.	85
Ilustración 81. Falla del espécimen.	85
Ilustración 82. Especímen colocado en la prensa hidráulica.	87
Ilustración 83. Falla del espécimen.	87
Ilustración 84. Colocación del espécimen en la prensa hidráulica.	89
Ilustración 85. Falla del espécimen.	89
Ilustración 86. Apariencia del espécimen.	89
Ilustración 87. Falla de la briqueta.	90
Ilustración 88. Granulometría de la arena "Joyitas" con los límites de mortero.	95
Ilustración 89. Velocidad de pulso ultrasónico en cubos.	98
Ilustración 90. Velocidad de pulso ultrasónico en cilindros.	99
Ilustración 91. Resistividad eléctrica en cubos.	100
Ilustración 92. Resistividad eléctrica en cilindros.	101
Ilustración 93. Porosidad total en cubos.	102
Ilustración 94. Porosidad total en cilindros.	103
Ilustración 95. % de humedad de absorción en cubos.	104
Ilustración 96. % de humedad de absorción en cilindros.	105
Ilustración 97. Comprensión simple en cubos.	106
Ilustración 98. Módulo de ruptura en prismas.	107
Ilustración 99. Tensión directa en briquetas.	108
Ilustración 100. Tensión indirecta en cilindros.	109



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



DEDICATORIAS

A Dios por darme la salud y energía necesaria, que sin su ayuda no lograría esta meta.

A mi mamá la Sra. Apolonia Marino Miranda y mi Papá el Sr. Francisco Castrejón Aguilar, a mis Hermanos y Hermanas y toda mi Familia por todo el apoyo que me ofrecen, el amor y motivación día a día. Que me enseñaron que los planes o sueños se pueden hacer realidad con el esfuerzo, trabajo y constancia de todos los días. Y que este logro es sin lugar a dudas parte de ellos y gracias infinitamente por todo.

A mis amigos y compañeros que he tenido la oportunidad de conocer, por su cariño, respeto y apoyo en las diferentes circunstancias de la vida. Que aprendí que los resultados son mejores si se realizan en equipo.





**“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado
con almidón de arroz”**



AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme vida y los mecanismos necesarios para seguir adelante, que nunca olvidare su gran apoyo y viviré agradecido por todo lo que me ofrece.

A mi madre y padre, hermanos y hermanas y toda mi familia, que me ayudan a seguir adelante y guiarme para ser una mejor persona, siempre los llevo en mi corazón y mente.

A mi asesora la Dra. Elia Mercedes Alonso Guzmán por apoyarme, motivarme, corregirme para hacer bien las cosas y por sus conocimientos transmitidos. Muchas gracias!

A mis co-asesores los maestros Sandra del Carmen Arguello Hernández, Luis Colín Velázquez y Noel Díaz González, así como al maestro Cipriano Bernabé Reyes por todo el apoyo que me ofrecieron y los conocimientos necesarios para concluir esta investigación, que sin su ayuda no sería posible hacer esta investigación. Muchas gracias!

Al laboratorio de materiales “Ing. Luis Silva Ruelas”, el departamento de Resistencia de Materiales y el departamento de Corrosión por abrirme las puertas y facilitarme el uso de materiales y equipos necesarios para realizar las pruebas. A los compañeros de servicio social por su ayuda, buena disponibilidad y seguir puntualmente los procedimientos de cada prueba. Muchas gracias!





“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



I. RESUMEN

La producción de cemento afecta la capa de ozono del planeta debido a que se generan millones de toneladas de dióxido de carbono (CO_2) al año del orden de 0.6 a 0.8 por tonelada de producción, y por lo tanto afecta la calidad del aire provocando fenómenos naturales y enfermedades graves. Es necesario que las empresas cementeras inviertan en mejorar los diferentes procesos de producción del cemento o hacer estudios que conlleven a emplear nuevos materiales con buenas características físicas y mecánicas que se requiere en la construcción y que estos materiales sean menos contaminantes y disminuyan la liberación de dióxido de carbono a la atmosfera.

El Maíz (*Zea mays*), arroz (*Oryza sativa*) y trigo (*Triticum aestivum*), representan los tres principales cultivos básicos fundamentales para la seguridad alimentaria mundial (FAOSTAT, 2017). La producción de arroz en México es uno de los principales cultivos, este grano básico fue ganando importancia en la dieta alimenticia de la población y en la actualidad se posiciona como el tercer cereal más consumido en México, solo después del maíz y el trigo. La producción de arroz en México en el año 2016 y 2017 fue de 236 mil toneladas y 266 mil toneladas respectivamente. Las tres principales entidades productoras de arroz son Campeche, Nayarit y Michoacán (Atlas Agroalimentario, 2018).

El uso de adiciones naturales al mortero tiene como objetivo incrementar la resistencia, adherencia y durabilidad al compararlo con el mortero convencional y así disminuir la liberación de dióxido de carbono (CO_2) a la atmosfera.

Se elaboraron 5 mezclas:

1. T= Mortero testigo con el 100% de cemento.
2. A.A +5%= Mortero con adición de Almidón de Arroz del 5%.
3. A.A -5%= Mortero con sustitución de Almidón de Arroz del 5%.
4. A.A +3%= Mortero con adición de Almidón de Arroz del 3%.
5. A.A -3%= Mortero con sustitución de Almidón de Arroz del 3%.

La relación agua-cemento (A/C) de cada mezcla es de 0.68.

En las pruebas no destructivas de resistividad eléctrica y velocidad de pulso ultrasónico (VPU) obtuvo mejores resultados el Testigo (T) y en % de porosidad total y % humedad de absorción obtuvo mejores resultados el Almidón de arroz con adición del 5% (A.A +5%). En pruebas destructivas en espécimen de cubos y briquetas obtuvo mejores resultados el Almidón de arroz con adición del 5% (A.A +5%) y en espécimen de prismas y cilindros obtuvo mejores resultados el Testigo (T).

Palabras Clave: Adición, Sustitución, almidón, resistencia, durabilidad, mortero.



II. ABSTRACT

Cement production affects the ozone layer of the planet due to the fact that millions of tons of carbon dioxide (CO₂) per year are generated in the order of 0.6 to 0.8 per ton of production, and therefore affect the quality of the air causing phenomena natural and serious diseases. It is necessary that the cement companies invest in improving the different processes of cement production or make studies that lead to the use of new materials with good physical and mechanical characteristics that is required in the construction and that these materials are less polluting and reduce the release of dioxide of carbon to the atmosphere.

Maize (*Zea mays*), rice (*Oryza sativa*) and wheat (*Triticum aestivum*), represent the three main staple crops fundamental for world food security (FAOSTAT, 2017). The production of rice in México is one of the main crops, this basic grain was gaining importance in the diet of the population and currently is positioned as the third most consumed cereal in Mexico, only after corn and wheat. The production of rice in México in 2016 and 2017 was 236 thousand tons and 266 thousand tons respectively. The three main producing entities of rice are Campeche, Nayarit and Michoacán (Atlas Agroalimentario, 2018).

The use of natural additions to the mortar has as an objective to increase the resistance, adherence and durability when compared with conventional mortar and thus reduce the release of carbon dioxide (CO₂) into the atmosphere.

5 mixtures were made:

1. T= witness mortar with 100% cement.
2. A.A +5%= Mortar with addition of 5% Rice Starch.
3. A.A -5%= Mortar with substitution of 5% Rice Starch.
4. A.A +3%= Mortar with addition of 3% Rice Starch.
5. A.A -3%= Mortar with substitution of 3% Rice Starch.

The water-cement ratio (A / C) of each mixture is 0.68.

In the non-destructive tests of electrical resistivity and ultrasonic pulse velocity (VPU), the control (T) obtained better results and in% of total porosity and% humidity of absorption obtained better results Rice starch with addition of 5% (AA + 5%). In destructive tests in buckets and briquettes, rice starch with 5% addition (A.A + 5%) obtained better results and in the prism and cylinder specimen, the control (T) obtained better results.

Keywords: Addition, Substitution, starch, strength, durability, mortar.



III. JUSTIFICACIÓN

El mortero es utilizado exitosamente en trabajos de albañilería como los siguientes: junteo de piezas de mampostería (ladrillos, tabiques, tabicones, bloques de concreto, aplanado o repello de muros, pegado de piedra brasa en cimentaciones y muros de contención, entortados para dar pendientes y renivelaciones, plantillas para desplante, firmes con mezclas mejoradas con gravilla y base para empedrados.

Daños más frecuentes al utilizar mortero en los trabajos de albañilería (Arquitectura popular, 2017):

Degradación de morteros de muros de ladrillo por ataque de sulfatos. Se trata de una patología que consiste en una degradación del mortero empleado en la construcción de muros de ladrillo debido a la presencia de sulfatos en los ladrillos que reaccionan en presencia de humedad con los aluminatos del mortero de cemento portland, produciéndose una expansión del mismo que origina deformaciones y grietas en muros o roturas en los ladrillos.

Grietas en muros. Una grieta es una rotura que alcanza todo el espesor del elemento constructivo, partiéndolo en dos y, en muchas ocasiones, afectando seriamente a su capacidad portante o debilitándolo para su función como envoltura. El origen de este problema puede estar en diversos hechos: daños en su estructura interna, movimientos de la cimentación que no sean resistidos por el muro afectado, un reparto deficiente de esfuerzos o de sobrecargas no previstas, variaciones en las condiciones térmicas y de humedad que dañen la cohesión interna del muro, etc.

Carbonatación del concreto. Se trata de un fenómeno superficial del concreto que se produce ante concentraciones elevadas de CO_2 en el ambiente, y humedad y temperatura superiores a lo normal, variando el pH del concreto y acelerándose el proceso de corrosión de las armaduras que, a su vez, origina tensiones en el concreto que provocan fisuración y desprendimiento, quedando las armaduras al descubierto.

Es por estos daños y otros que se necesita obtener un mortero más resistente, con mejor adherencia, trabajable y duradero que soporte los daños ambientales así como las diversas fuerzas o cargas en que se ha sometido. Al mortero convencional se le puede adicionar además del cemento hidráulico otro material que le otorgue mejores propiedades químicas y mecánicas.

Con respecto al cemento es importante saber que el alto consumo de cemento Portland, genera emisiones de CO_2 del orden de 0.6 a 0.8 por tonelada de producción, por lo tanto es de máxima importancia que las empresas cementeras trabajen en acciones o procesos para reducir el impacto ambiental que generan, una acción podría ser el mejoramiento en



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



los procesos de producción llevados a cabo en la planta cementera y una segunda opción optima el empleo de materiales alternativos como adiciones.

Los efectos ambientales de la producción del cemento (CANACEM, 2014):

Enorme erosión del área de las canteras por la extracción continua de la piedra caliza y otros materiales.

Producción de gran cantidad de polvos provocados por el triturado de la piedra en la planta.

Emisión de contaminantes al aire (monóxido de carbono, monóxido de nitrógeno, dióxido de azufre y partículas muy finas) dependiendo del tipo de combustible y proceso empleado durante la calcinación en el horno (combustión).

El polvo de los residuos del horno forma el llamado clinker, que puede contener metales pesados y otros contaminantes. Si el polvo del Clinker se desecha en las canteras donde se extrajo la piedra caliza o en un relleno sanitario puede contaminar los mantos de aguas subterráneas.

Se puede observar en la tabla 1, en los 5 años registrados en la mayoría de años con excepción 2013 el consumo nacional en millones de toneladas de cemento la tendencia está en aumento, por consecuencia hay mayor contaminación ambiental cada año y mayor demanda de las materias primas, por lo tanto es necesario emplear nuevos materiales alternativos que generen la menor contaminación posible y desempeñen buenas propiedades mecánicas, físicas y químicas.

Tabla 1. Producción y consumo nacional de cemento (CANACEM, 2014).

Año	Producción	Consumo nacional (Millones de ton)	Habitantes	Kg/Habitantes
2010	34.5	33.9	112,550,697	301
2011	35.4	34.4	114,975,406	299
2012	36.2	34.6	116,901,761	295
2013	34.6	32.7	118,395,054	276
2014	36.6	35.2	119,713,203	294



**“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado
con almidón de arroz”**



Tabla 2. Exportaciones e importaciones de cemento en millones de toneladas
(International Cement Review, 2016).

Región	2014		2015		2016 E	
	Exportación	Importación	Exportación	Importación	Exportación	importación
Europa	65.06	35.19	61.86	30.77	59.93	28.06
Norte de Asia	36.31	8.64	36.80	7.63	39.44	7.29
Medio oriente	34.16	24.39	31.02	26.22	31.84	23.01
Sur de Asia	32.58	21.59	26.80	22.83	30.69	17.31
Subcontinent e Indio	14.71	27.76	11.18	28.36	12.57	35.05
África	10.28	55.20	10.41	46.42	14.87	36.26
Norte América	6.23	7.62	5.39	11.72	5.50	13.90
Latinoamérica y el Caribe	5.96	14.60	5.34	11.21	4.90	9.86
Australasia	0.14	4.06	0.12	4.07	0.18	4.67
Total	205.43	199.05	190.92	189.23	199.92	175.41

(E= valor estimado)

El gran consumo de cemento se debe a que la industria del cemento es uno de los pilares fundamentales del desarrollo económico y social en todo el mundo, al ser esencial para la construcción de todo tipo de edificaciones, desde viviendas hasta espacios comerciales y corporativos, instalaciones culturales, deportivas y recreativas, así como grandes obras de infraestructura.

PRODUCCION DE ARROZ

El arroz es uno de los principales cultivos que llegaron a México con el arribo de las migraciones de europeos, hacia finales del Siglo XV y principios del XVI. Tras su introducción en el país, este grano básico fue ganando importancia en la dieta alimenticia de la población, y en la actualidad se posiciona como el tercer cereal más consumido en México, solo después del maíz y el trigo.

Según datos publicados por (FAOSTAT, 2016), para el periodo de 1961 al 2014, el área destinada para la producción de arroz ha venido experimentado decrementos significativos, con excepción de los años 1975 y 1985, en los que se observó mayor área cosechada y que coincide con el máximo valor de producción obtenido, de tal manera que de las 146,341 hectáreas cultivadas en 1961, para el 2014 solo se cultivaron 40,642 hectáreas, lo que representa un decremento del 72%.



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



El 90% de las importaciones de arroz provienen de Estados Unidos (SIAP, 2016)

Lo que es alentador es que el Consejo Nacional de Productores de Arroz, señaló que a través de las compras consolidadas de insumos agrícolas, apoyos financieros, asistencia técnica puntual y ordenamiento del mercado, la producción de arroz en el país podría iniciar una etapa de recuperación, en los próximos cinco años; así como disminuir importaciones por el orden del 60% (AgroSíntesis, 2017).

Como se puede ver en la Ilustración 1, entre 2012-2017 la producción mexicana de arroz muestra un ritmo de crecimiento promedio de 8.2%, lo que permite seguir aumentando la participación del volumen nacional en el consumo interno.

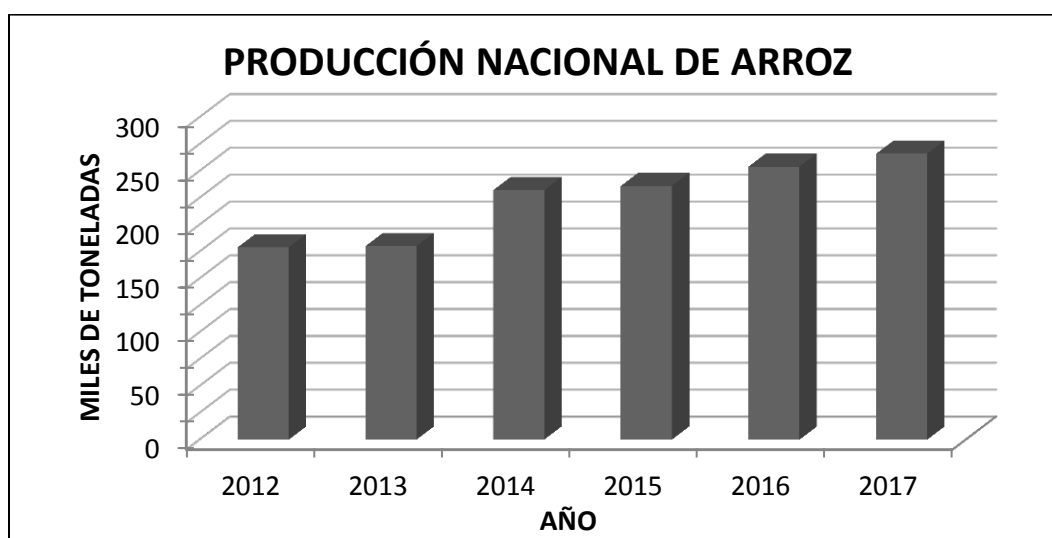


Ilustración 1. Producción nacional de arroz (Atlas Agroalimentario, 2018).

Tabla 3. Principales entidades productoras de arroz (Atlas Agroalimentario, 2018).

Rank	Entidad federativa	Volumen (toneladas)
1	Campeche	70,389
2	Nayarit	65,529
3	Michoacán	29,966
4	Veracruz	27,82
5	Colima	18,94
6	Jalisco	13,467
7	Morelos	13,066
8	Tabasco	11,508
9	Tamaulipas	10,922
10	Guerrero	2,589



IV. OBJETIVO GENERAL

Diseñar, elaborar y evaluar una mezcla de mortero modificado con un material de procedencia orgánica (almidón de arroz) para mejorar las propiedades físico-mecánicas y de durabilidad respecto a un mortero convencional. Con esto evitar el consumo de cemento al construir, restaurar o reparar una construcción civil o militar, lo cual se reducirían las cantidades de dióxido de carbono (CO_2) a la atmosfera que es uno de los principales gases causantes del efecto invernadero.

V. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Diseñar y elaborar un mortero con adición y sustitución de almidón de arroz capaz de resistir condiciones ambientales como: procesos de erosión, cambios bruscos de temperatura, agrietamiento entre otras.
2. Analizar los morteros sometidos a esfuerzos de tensión directa, compresión, flexión estática y tensión indirecta.
3. Obtener un mortero de alta durabilidad ante agentes agresivos, mediante técnicas no destructivas de resistividad eléctrica y velocidad de pulso ultrasónico.
4. Identificar la mezcla de mejores propiedades físicos-mecánicas y de durabilidad, para uso en la construcción.



1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de los últimos años se han buscado materiales que colaboren con la resistencia y durabilidad, capaces de resistir ataques agresivos del medio ambiente (contaminantes, aceites, algas, materia orgánica, arcillas, limos, así como las reacciones álcali-sílice, álcali-carbonato y ataques por sulfatos y por cloruros).

Las adiciones al cemento se han utilizado desde tiempos remotos para diferentes fines, específicamente para modificar las propiedades de los materiales de construcción de base cementicia, pues la producción de cementos diferentes al CPO o CPC no es usual, las propiedades se modifican con adiciones, lo que simplifica la producción de CP; ya sean para construcciones o para la naturaleza, de allí surge la necesidad de investigar adiciones naturales y obtener mejores resultados con el cemento. En la actualidad hay gran variedad de investigaciones sobre adiciones al cemento, que buscan modificar o incrementar sus propiedades físicas, mecánicas y durabilidad, capacidad de resistir ataques agresivos de la naturaleza, disminuir el índice de permeabilidad, incrementar la adherencia y la resistencia mecánica (Arguello Hernández, 2012).

Las investigaciones sobre adiciones naturales son importantes ya que se pueden implementar por un sin fin de razones, como son: la necesidad de disminuir emisiones de CO₂ y calor a la atmósfera, la posibilidad de usar subproductos de otras industrias o materiales con propiedades químicas que proporcionen mejor desempeño al cemento y así disminuir la producción de cemento Portland (CP).

Los cementos adicionados traen consigo un número considerable de ventajas, tales como, altas o muy altas resistencias finales, a 28 días o más, se consigue mayor durabilidad debido a la formación de una matriz cementicia más densa, alta resistencia a los sulfatos y al ion cloruro, siempre que se realice la elaboración y el curado adecuado.

Las adiciones al cemento pueden ser utilizados para el mejoramiento del desempeño del concreto en su estado fresco y endurecido. Son principalmente utilizados para mejorar la trabajabilidad, la durabilidad y la resistencia. Estos materiales le permiten al productor de concreto diseñar y modificar la mezcla de concreto para satisfacer la aplicación deseada. Las mezclas con concreto con elevados contenidos de cemento portland son susceptibles a la fisuración y a una mayor generación de calor. Estos efectos pueden ser controlados en alguna medida mediante la utilización de adiciones al cemento (NRMCA, 2014).

El uso de adiciones reduce el consumo de cemento portland por unidad de volumen de concreto. El cemento Portland tiene un elevado consumo de energía y de emisiones asociadas con su producción, es por eso necesario disminuir la producción de cemento con adiciones que mejoren sus propiedades físicas y mecánicas y ayudar al cuidado del medio ambiente.



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



En investigaciones realizadas en países como Colombia, Panamá, Perú, Uruguay y China se intentaron mejorar los sistemas constructivos de los proyectos de vivienda, teniendo en cuenta un análisis de la utilización de la cascarilla de arroz en la fabricación en bloques de concreto para mampostería, así como obtener un material constructivo en la conformación de cemento puzolánico, aislantes térmicos y filtros de agua (Castaño Gomez, 2017).

En esta investigación se hace un estudio de mortero base cemento con un porcentaje del 3% y 5% en sustitución y adición de almidón de arroz con respecto al peso del cemento, así como una mezcla de testigo (sin almidón de arroz) que sea referencia al comparar los resultados de cada mezcla y saber que mezcla obtiene mejores resultados en pruebas destructivas y no destructivas.



2. MARCO TEÓRICO

2.1. CEMENTO.

El cemento es el material de construcción más utilizado en todo el mundo. El cemento utilizado en construcción es un polvo fino, obtenido de la calcinación a una temperatura que puede llegar a alcanzar los 1,450 grados centígrados de una mezcla compuesta por piedra caliza, arcilla y materiales que contienen sílice, alúmina u óxidos de hierro. El producto del proceso de calcinación se denomina clínker, que, al ser triturado con yeso, adiciones y aditivos químicos, resulta en cemento apto para la construcción.

El cemento es un material aglutinante que presenta propiedades de adherencia y cohesión, que permiten la unión de fragmentos minerales entre sí, formando un todo compacto. Este material tiene la propiedad de fraguar y endurecer en presencia del agua, presentándose un proceso de reacción química que se conoce como hidratación. El cemento es un conglomerante hidráulico, es decir, un material inorgánico finamente molido que amasado con agua, forma una pasta que fragua y endurece por medio de reacciones y procesos de hidratación y que, una vez endurecido conserva su resistencia y estabilidad incluso bajo el agua (Instituto del Concreto, 1997).

El cemento es el material de construcción más utilizado en el mundo. Aporta propiedades útiles y deseables, tales como resistencia a la compresión, durabilidad y estética (antes del fraguado y el endurecimiento, el cemento hidratado exhibe un comportamiento plástico. Por lo tanto, puede colocarse en moldes de diferentes formas, y puede generar arquitecturas estéticamente ambiciosas y difíciles de lograr con otros materiales de construcción) para una diversidad de aplicaciones de construcción.

2.1.1. Producción del cemento Portland.

El cemento Portland se produce por la pulverización del clínker, el cual consiste principalmente en silicatos de calcio hidráulicos, también contiene algunos aluminatos de calcio y ferroaluminatos de calcio y una o más formas de sulfato de calcio (yeso) se muele conjuntamente con el clínker para la fabricación del producto final. Los materiales utilizados en la fabricación del cemento Portland deben contener cantidades apropiadas de los compuestos de calcio, sílice, alúmina y hierro.

Proceso para la obtención del cemento portland ordinario (CPO) (Kosmatka, 2004):

1. Obtención y preparación de materias primas.

Las canteras se explotan mediante voladuras controladas, en el caso de materiales duros como calizas y pizarras, mientras que en el caso de materiales blandos (arcillas y roca sedimentaria compuesta principalmente de calcita y arcillas) se utilizan excavadoras para su extracción.



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



2. Trituración.

Una vez extraído y clasificado el material, se procede a su trituración por molinos de bolas o por prensas de rodillos hasta obtener una granulometría adecuada para el producto de molienda y se traslada a la fábrica mediante cintas transportadoras o camiones para su almacenamiento en el parque de prehomogeneización.

3. Prehomogeneización.

El material triturado se almacena en capas uniformes para ser posteriormente seleccionadas de forma controlada. La prehomogeneización permite preparar la dosificación adecuada de los distintos componentes reduciendo su variabilidad.

4. Molienda de crudo.

Estos materiales se muelen para reducir su tamaño y favorecer así su cocción en el horno.

5. Precalentador de ciclones.

La alimentación al horno se realiza a través del precalentador de ciclones, que calienta la materia prima para facilitar su cocción.

6. Fabricación del clínker (Horno).

A medida que la harina va avanzando en el interior del horno la temperatura va aumentando hasta alcanzar los 1,500°C, produciéndose entonces las complejas reacciones químicas que dan lugar al clínker.

7. Fabricación del clínker (Enfriador).

A la salida del horno, el clínker se introduce en el enfriador, que inyecta aire frío del exterior para reducir su temperatura de los 1,500°C a los 100°C.

8. Molienda de clínker y fabricación de cemento.

El clínker se mezcla con yeso y adiciones dentro de un molino de cemento de bolas a circuito cerrado o prensas de rodillos con separadores neumáticos que permiten obtener una finura de alta superficie específica.

9. Almacenamiento del cemento.

El cemento se almacena en silos, separado según sus clases.

10. Envasado o expedición a granel.

El cemento se envasa o se descarga en un camión cisterna para su transporte por carretera o ferrocarril.

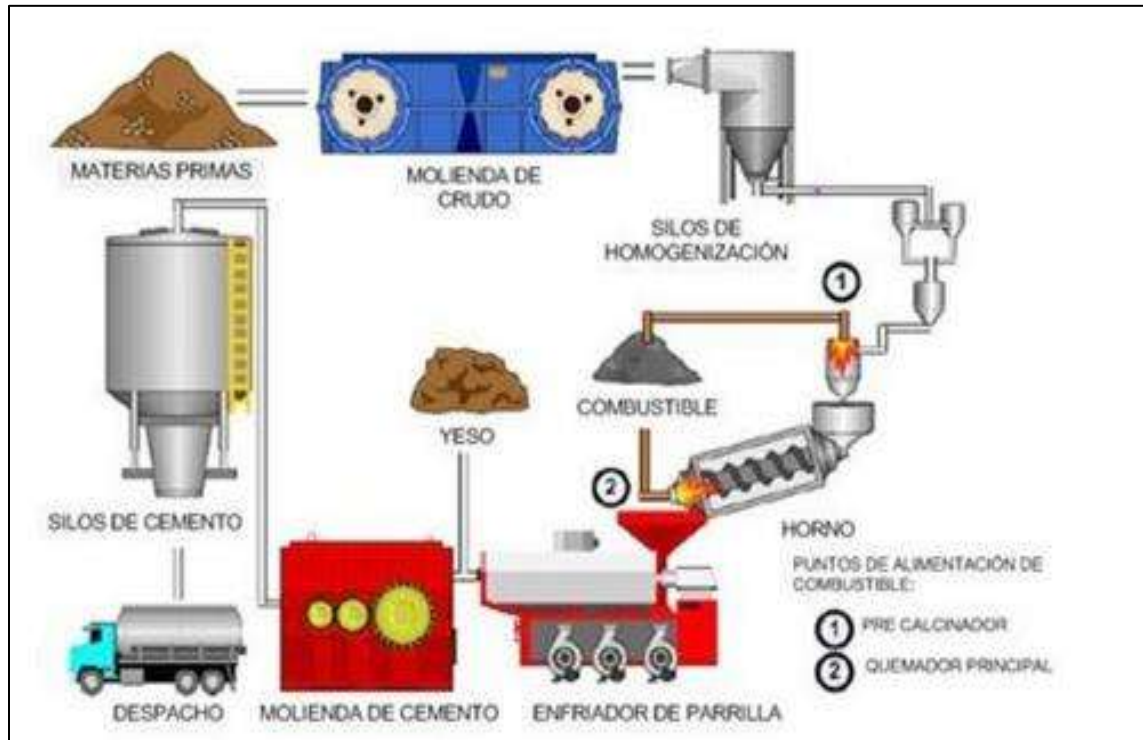


Ilustración 2. Producción del cemento.

2.1.2. Clasificación del cemento.

Anteriormente los cementos estaban clasificados de acuerdo a las normas mexicanas NMX-C-001, NMX-C-002 y NMX-C-175 como se muestra en la Tabla 4, por diversas circunstancias de calidad la normativa se actualizó ya que las normas se actualizan al menos cada década para una mejor resistencia en el concreto y actualmente es como indica la Tabla 5, esta nomenclatura sólo se utiliza en México la nomenclatura a nivel mundial sigue utilizando los números romanos basada en la (ASTM C150/C150M, 2016).

Tabla 4. Comparativa del cemento por su desempeño con otras normas (NMX-C-414-ONNCCE, 2017).

NMX-C-414-ONNCCE-2014 (Vigente)	NMX-C-001 (Cancelada) NORMA ASTM-C-150-16
CPO 30, CPO 30R Y CPC 30R	TIPO I (Portland normal)
Cualquier cemento que cumpla con la característica especial BCH Y RS	TIPO II (Portland moderada resistencia a los sulfatos)
CPO 40, CPO 40R Y CPC 40R	TIPO III (Portland fraguado rápido, alta resistencia inicial)



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



Cualquier cemento que cumpla con la característica especial BCH	TPO IV (Portland bajo calor de hidratación)
Cualquier cemento que cumpla con la característica especial RS	TIPO V (Portland alta resistencia a los sulfatos)
CPO o CPC que cumpla con la característica especial B	Blanco
Cualquier cemento que cumpla con la característica especial BRA	Especial, bajo álcali; todos los tipos

Tabla 5. Clasificación del cemento con la actual norma.

TIPO	DENOMINACIÓN	CLASE RESISTENTE (MPa)	CARACTERÍSTICAS ESPECIALES
CPO	Cemento Portland Ordinario	20	RS (Resistente a los sulfatos)
CPP	Cemento Portland Puzolánico	30	BRA (Baja Reactividad Álcali-Agregado)
CPEG	Cemento Portland con Escoria Granulada de Alto Horno	30 R (Resistencia rápida)	BCH (Bajo Calor de Hidratación)
CPC	Cemento Portland Compuesto	40	B (Blanco)
CPS	Cemento Portland con Humo de Sílice	40 R	–
CEG	Cemento con Escoria Granulada de alto Horno	–	–

2.1.3. Propiedades del cemento.

Conocer las propiedades del cemento es importante para tener en cuenta algunos aspectos de su bondad como material cementante. Estas propiedades son de carácter químico, físico y mecánico; las cuales dependen del estado en el cual se encuentren. Estudiar el cemento a fondo ayudará a saber su comportamiento con otras materias primas y su comportamiento al mezclarse con otros elementos.



2.1.3.1. Propiedades Físicas.

Como todos los materiales, el cemento cuentan con propiedades físicas de las cuales las más importantes son: densidad, finura, consistencia normal, tiempos de fraguado y expansión. Estas dan una evaluación del cemento y del concreto, las cuales dependen del tipo de cemento que se utiliza.

- **Densidad.** Es la relación entre la masa de una cantidad dada y el volumen absoluto de esa masa. Su valor varía muy poco, y en un cemento Portland normal, suele estar muy cercano a 3.15 g/cm^3 . En el caso de cementos adicionados, es menor porque el contenido de clínker por tonelada de cemento es inferior dando valores del orden de 2.9 gr/cm^3 , dependiendo del porcentaje de adiciones. La densidad no indica directamente la calidad del cemento pero analizándola en conjunto con otras propiedades, puede determinar si el cemento tiene adiciones.
- **Finura.** El proceso de molienda de clínker y yeso determina la finura del cemento, que es el tamaño de las partículas de cemento. Está íntimamente ligada con la velocidad de hidratación, desarrollo de calor, retracción y aumento de la resistencia. Un cemento de alta finura, endurece con mayor velocidad (mayor rapidez de hidratación) y tiene un desarrollo rápido de resistencia la finura es de 1.1×10^{12} partículas por kg, también se puede expresar en m^2 por kg; para la industria cementera una finura alta representa invariablemente un mayor costo de molienda, por lo que el tratamiento solo se justifica en el caso de que se pretenda producir un cemento especial de resistencia rápida (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004).
- **Consistencia normal.** Se refiere a la movilidad relativa de la mezcla fresca de pasta o mortero de cemento. Cuando los cementos tienen adiciones, los requerimientos de agua son mayores que en los cementos normales. El contenido de agua se expresa en masa del cemento seco y suele variar entre 23 y 33% (Instituto del Concreto, 1997).
- **Tiempos de fraguado.**
 - **Fraguado inicial.** Tiempo que transcurre desde que la pasta plástica que se forma cuando el cemento se mezcla con agua va perdiendo su fluidez, hasta llegar a un momento en que ya no tiene toda su viscosidad y se eleva su temperatura, lo cual indica que el cemento se encuentra parcialmente hidratado.
 - **Fraguado final.** Tiempo que transcurre hasta que la pasta de cemento deja de ser deformable con cargas relativamente pequeñas, se vuelve rígida y llega a la máxima temperatura, lo cual indica que el cemento se encuentra aún más hidratado y la pasta ya esta dura.



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



- **Fraguado falso.** Fenómeno que ocurre cuando la pasta de cemento adquiere una rigidez prematura y anormal, dentro de los primeros minutos después de mezclar el cemento y el agua. Internamente ocurre que una gran cantidad de sulfatos se deshidrata y de esta manera se forma el yeso (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004).
- **Expansión.** Se refiere a la habilidad de la pasta de cemento en mantener su volumen. La falta de sanidad o la expansión destructiva retardada se puede causar por la cantidad excesiva de cal libre o magnesia súper calcinadas. La mayoría de las especificaciones para cemento Portland limitan el contenido de magnesia (La periclasa es la forma mineral del óxido de magnesio (MgO)) y la expansión máxima (ASTM C151, 2018), otro motivo por el cual puede contener magnesio es porque el carbonato de calcio puede tener carbonato de magnesio, dolomía o dolomita, sólo se permite el 5% de este carbonato de Mg.

2.1.3.2. Propiedades Químicas.

En el proceso de producción del cemento se produce una transformación de las materias primas a productos con mejores características, por medio de reacciones en estado sólido. Razón por la cual, la química del cemento frecuentemente emplea un modelo basado en abreviaturas para las fórmulas químicas de los óxidos más frecuentes. Los cuatro compuestos principales del cemento se forman a partir de óxidos, como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6. Componentes químicos del cemento (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

NOMBRE	COMPOSICIÓN	FÓRMULA ABREVIATA	NOMBRE DEL MINERAL
Silicato Tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S	Alita
Silicato Dicálcico	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S	Belita
Aluminato Tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A	Celita
Aluminoferrito Tetracálcico	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF	Felita
Sulfato de calcio Hidratado (Yeso)	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	CSH_2	-

En términos prácticos se sabe que los silicatos de calcio (silicato tricálcico y dicálcico) son los compuestos más deseables, porque al hidratarse forman los silicatos B hidratados de calcio (S-H-C) que son responsables de la resistencia mecánica y otras propiedades del concreto. Normalmente, el silicato tricálcico aporta resistencia a corto y mediano plazo, y



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



el silicato dicálcico a mediano y largo plazo, es decir, se complementan para que la adquisición de resistencia se realice en forma sostenida (Carvajal, Silva, Valiente, & Venegas, 2007).

El aluminato tricálcico es tal vez el compuesto que se hidrata con mayor rapidez, y por ello propicia mayor velocidad en el fraguado y en el desarrollo de calor de hidratación en el concreto. Asimismo, su presencia en el cemento hace al concreto más susceptible de sufrir daño por efecto del ataque de sulfatos. Por todo ello, se tiende a limitarlo en la medida que es compatible con el uso del cemento.

Finalmente, el aluminoferrito tetracálcico es un compuesto relativamente inactivo pues contribuye poco a la resistencia de concreto y su presencia más bien es útil como fundente la calcinación del Clinker (reduce la temperatura de formación del clinker, ayudando por tanto a la manufactura del cemento) y porque favorece la hidratación de los otros compuestos.

CONCEPTOS.

Hidratación del cemento. La reacción mediante la cual el cemento Portland se transforma en un agente de enlace, se genera por los procesos químicos responsables de la formación de compuestos durante la hidratación, los cuales originan propiedades mecánicas útiles en aplicaciones estructurales.

Calor de hidratación. Durante el proceso de hidratación, se efectúan reacciones químicas exotérmicas, es decir reacciones que liberan calor, haciendo que los concretos al fraguar y endurecer aumente de temperatura. Este incremento es importante en estructuras de concreto, ya que cuando ha ocurrido el fraguado y se inicia el descenso de la temperatura, se origina contracción del material, que puede conducir a la formación de grietas y fisuras. El calor de hidratación se define como la cantidad de calor en calorías por gramo de cemento deshidratado, después de una hidratación completa a una temperatura dada. Depende de la composición del cemento y es aproximadamente igual a la suma de los calores de hidratación de los compuestos individuales. El C_3 (aluminato tricálcico) y el C_3S (silicato tricálcico) son los compuestos particularmente responsables del elevado desarrollo de calor (Instituto del Concreto, 1997).

2.1.3.3. Propiedades Mecánicas.

- **Resistencia a la compresión.** Es aquella obtenida por la prueba de cubos o cilindros de mortero de acuerdo con las normas NMX-C-061-ONNCCE-2015, ASTM C 109/C 109M-16 y AASHTO-T-106M-18 (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004). La resistencia mecánica del concreto frecuentemente se identifica con su resistencia a compresión, debido a que por un lado es la propiedad mecánica más sencilla y practica de determinar y por otro, esta representa la condición de carga en que el



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



concreto exhibe mayor capacidad para soportar esfuerzos, de modo que la mayoría de veces los elementos estructurales se diseñan con el fin de obtener el mayor provecho a esta propiedad.

- **Resistencia a la flexión.** Prueba en la que se pretende conocer el comportamiento del mortero cuando es sometido a esfuerzos de flexión en prismas de 40x40x160 mm, siguiendo el procedimiento establecido en la norma (ASTM C348, 2018).

Tipos de pruebas de tensión (Ricardo, 2017):

1. **Prueba de tensión directa.** Por medio del ensayo de especímenes cilíndricos o prismáticos, sometidos a una fuerza de tensión axial.
2. **Prueba de tensión indirecta.** Mediante el ensayo de especímenes cilíndricos, sujetos a una carga de compresión diametral.
3. **Prueba de tensión por flexión en especímenes prismáticos (vigas).** Los cuales pueden ser ensayados opcionalmente con una carga en el centro del claro, con dos cargas concentradas iguales aplicadas en los dos tercios del claro.

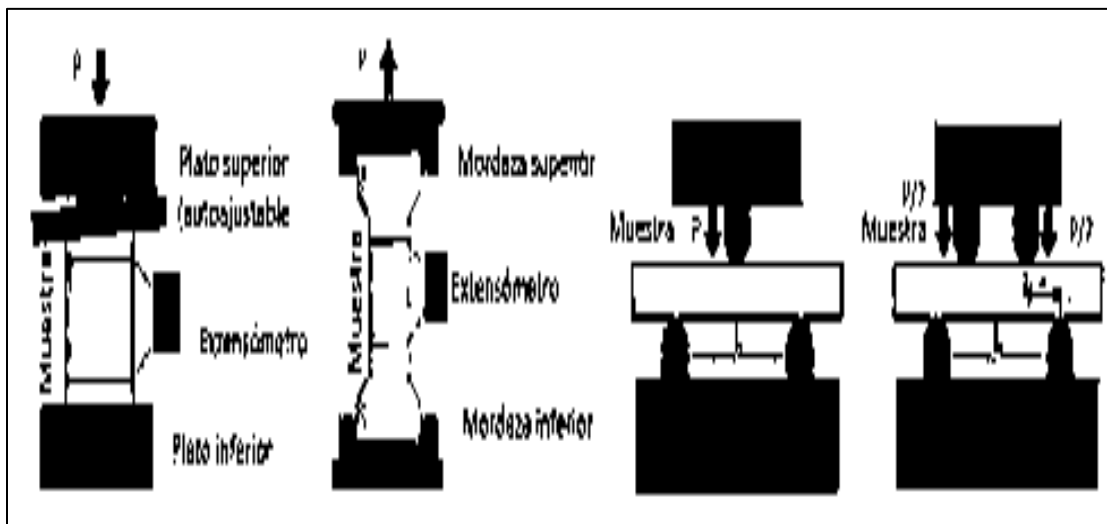


Ilustración 3. Tipos de tensión en diferentes especímenes.

2.1.4. Cemento utilizado en la Investigación.

El cemento que se utiliza en esta investigación es Tolteca CPC 30R RS (Ilustración 4). Esto significa que es un Cemento Portland Compuesto, de clase 30, con resistencia especificada a 28 días de 30 MPa y resistente a los sulfatos (NMX-C-414-ONNCCE, 2017).



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



El Cemento Portland resistente a los sulfatos, es aquel que presenta a un bajo contenido de Aluminato tricálcico (C_3A) la norma inglesa (British Standard) para este cemento, estipula un contenido de C_3A , del 3.5%. La finura mínima es $250 \text{ m}^2/\text{kg}$. Ha sido diseñado para estructuras que necesiten moderada resistencia a los sulfatos o bajo calor de hidratación. Se recomienda en edificios y construcciones industriales, puentes, estructuras expuestas a suelos, al agua con concentración moderada de sulfatos o al agua de mar o estructuras con gran volumen de concreto, en estos cementos el contenido de C_3A se limita a 8% (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004).

Este cemento ofrece alta resistencia a la acción de los sulfatos y se emplea exclusivamente en concretos expuestos a acciones severas de éstos, especialmente donde los suelos o aguas freáticas tengan alto contenido de sulfato. El cemento CPC 30R RS, genera moderado calor de hidratación ya que el C_3S y el C_3A , que son los que producen alto de hidratación, disminuyen notablemente.

El ataque de los sulfatos ocurre porque el Aluminato tricálcico (C_3A), reacciona químicamente con los sulfatos presentes en el medio ambiente formando un compuesto de mayor volumen, llamado sulfoaluminato de calcio, el cual por ocupar más espacio, origina esfuerzos internos en la pasta de cemento que pueden llegar a desintegrarla (Díaz González, 26 Febrero 2014). Es por ello que el cemento CPC 30R RS hace una fuerte reducción del contenido de sulfoaluminato de calcio, para que cuando el concreto sea atacado por los sulfatos, se evite que la sustancia que se forma cuando esta endurecido, produzca su destrucción (Instituto del Concreto, 1997).



Ilustración 4. Cemento utilizado en la investigación.



2.2. AGREGADOS PÉTREOS.

Los agregados finos y gruesos constituyen entre el 60 y el 75% de una mezcla de concreto. Debido a que los agregados ocupan un porcentaje tan alto del volumen de una mezcla de concreto y pueden afectar de gran manera las propiedades del concreto en estado fresco como endurecido, es importante que los agregados sean muestreados y ensayados adecuadamente para garantizar que sean idóneos para usarse en la mezcla diseñada (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C, 2015).

Los agregados no solo pueden limitar la resistencia del concreto, pues sus propiedades pueden afectar en gran medida la durabilidad y el rendimiento estructural del concreto. En un principio, al agregado se le considero como material inerte, no costoso, disperso en la pasta de cemento para producir un gran volumen de concreto. En general, el agregado no es inerte, a menos que se trate de agregados alcalinos que provoquen reacción álcali-agregado, pues sus propiedades físicas, térmicas y en ocasiones, químicas, pueden influir en el desempeño del concreto, por ejemplo, mejorando su durabilidad y estabilidad de volumen sobre los de la pasta de cemento (Neville & Brooks, 2010).

Los agregados pétreos tienen un costo relativamente bajo, si se comparan con el cemento, lo que hace del concreto un material de construcción competitivo y económico. Los agregados deben cumplir con ciertas características como la forma de las partículas, su granulometría y peso específico que tienen una gran influencia en el proporcionamiento, economía y calidad del concreto. La resistencia también disminuye a medida que la cantidad de agregado fino aumenta más allá de la necesaria para llenar los huecos que deja el agregado grueso.



Ilustración 5. Agregados pétreos (Escalera Saldaña & Franco Medina, 2017).



2.2.1. Clasificación de los Agregados Pétreos.

Los agregados se pueden clasificar (Pearl & Harvey, 2010):

1. Por su modo de fragmentación, podemos encontrar 3 tipos:

- **Naturales.** Localizados en yacimientos naturales o depósitos no consolidados, para utilizarlos sólo es necesario que sean seleccionados, refinados y clasificados por tamaños.
- **Artificiales o manufacturados.** Se localizan en macizos rocosos, para obtenerlos se emplean procedimientos de voladura con explosivos, posteriormente se limpian (despolvan), trituran y clasifican; Con este proceso se procede a utilizarlos.
- **Industriales.** Son aquellos que han pasado por diferentes procesos de fabricación, tal como productos de desecho, materiales calcinados, procedentes de demoliciones o algunos que ya han sido manufacturados y mejorados.

2. Por su tamaño:

- **Grava.** Es aquel material que pasa por la malla de 3” y se retiene en la malla No. 4.
- **Arena.** Es aquel material que pasa por la malla No. 4 y se retiene en la malla No. 200.

3. Por su Color:

Esta es una clasificación muy común en los agregados, sin embargo el color no suele influir en las propiedades mecánicas que afectan la calidad de un concreto. Su uso se limita a concretos arquitectónicos aparentes (por ejemplo el mármol) y/o a control de color en una obra, por ejemplo los pisos industriales, en donde se deberá cuidar que todo el agregado presente condiciones de color similares para evitar la suposición de que un concreto más oscuro es un concreto más resistente

4. Por su Masa Unitaria (La masa unitaria también es conocida como masa volumétrica):

- **Agregados Ligeros.** Son aquellos agregados que producen concretos con masa unitaria menores que $1\,900\text{ kg/m}^3$, sin la presencia de elementos que generen aire.
- **Agregados de Masa Volumétrica Normal.** Aquellos que producen concretos con masa unitaria de $1\,900\text{ kg/m}^3$ a $2\,400\text{ kg/m}^3$.



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



- **Agregados conocidos como Densos o Pesados.** Son aquellos que producen concretos con una masa unitaria mayor que 2400 kg/m^3 .

5. Por su Composición Mineralógica (Arguello Hernández, 2012):

De acuerdo con su composición mineralógica, se cuenta con 3 tipos de agregados, y su origen se basa en el ciclo de las rocas.

- **Rocas Ígneas.** Constituyen la mayor parte de la porción sólida de la tierra, de ellas se derivan los otros grupos de rocas y la mayor parte de los agregados del concreto en América. Estas se forman por el enfriamiento y solidificación del magma y tienen una estructura masiva, totalmente cristalina o vítrea o una combinación entre ellas, dependiendo de la velocidad a la que se enfriaron durante su formación. Dependiendo del porcentaje de sílice que contienen se clasifican en ácidas, intermedias y básicas. Según el lugar de formación se clasifican en: intrusivas y extrusivas o volcánicas. Las primeras se forman a gran profundidad y las segundas en la superficie.
- **Rocas Sedimentarias.** Las rocas ígneas o rocas metamórficas son sometidas a los agentes de la intemperie como el sol, la lluvia y el viento. Estos agentes descomponen, fragmentan, transportan y depositan las partículas de roca, muy por debajo del lecho marino donde se cementan entre sí por algún material cementante. Los materiales de cementación pueden ser carbonosos, silíceos o arcillosos encontrados en la naturaleza.
Al mismo tiempo, el depósito y el material cementante son sometidos a presión estática del agua y se convierten en la capa compacta de roca sedimentaria. La deposición, cementación y consolidación toman lugar capa por capa debajo del lecho marino.
- **Rocas Metamórficas.** Tanto las rocas ígneas como las rocas sedimentarias pueden ser sometidas a altas temperaturas y presiones que causan metamorfismo produciendo un cambio en la estructura y textura de las rocas. Si bien es preciso reconocer que los agregados de una buena roca madre producen un concreto de calidad, puede ser erróneo concluir que un buen concreto no se pueda hacer de los agregados con propiedades ligeramente inferiores, a las sugeridas en reglamentos, obtenidos a partir de rocas madre no tan buenas. Estos agregados, que no son tan buenos, pueden ser utilizados para elaborar concreto satisfactorio debido al hecho de que una capa de pasta de cemento en los agregados, logra mejoras respecto a las características de durabilidad y resistencia. La selección de los agregados debe hacerse con prudencia teniendo en cuenta el factor económico (Neville & Brooks, 2010).



2.2.2. Propiedades de los agregados.

Para lograr las mejores propiedades mecánicas, el mortero debe contar con un esqueleto pétreo empacado lo más densamente posible, y con la cantidad de pasta de cemento necesaria para llenar los huecos o poros que este deje.

Los agregados son un componente dinámico dentro de la mezcla, aunque la variación en sus características puede ocurrir también durante los procesos de explotación, manejo y transporte. Y puesto que forman la mayor parte del volumen del material, se consideran componentes críticos en el mortero y tienen un efecto significativo en el comportamiento de las estructuras (Neville & Brooks, 2010).

Los agregados finos consisten en arenas naturales o manufacturadas con tamaños de partícula que van desde 5 mm hasta mayores de 60 μm (Neville & Brooks, 2010).

Algunas otras propiedades físicas del agregado son: la forma y textura de las partículas, la porosidad, la absorción, la densidad, la adherencia, la resistencia y de suma importancia la granulometría del agregado así como el módulo de finura.

2.2.2.1. Propiedades físicas.

Las propiedades físicas que más impactan en el comportamiento mecánico de las mezclas de concreto son: granulometría, porosidad, masa unitaria, forma y textura de las partículas.

- **Granulometría.** Es la distribución del tamaño de las partículas de un agregado, que se determina a través del análisis de los tamices (cedazos, cribas). Hay muchas razones para que se especifiquen los límites granulométricos y el tamaño máximo nominal de los agregados, pues afectan las proporciones relativas de los agregados, como la demanda de agua y de cemento, trabajabilidad, economía, porosidad, contracción y durabilidad del concreto. Las arenas muy finas son normalmente antieconómicas, mientras que las arenas y gravas gruesas pueden producir mezclas sin trabajabilidad (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004).
- **Porosidad.** Cuanto más poroso es, menos resistencia mecánica tiene, por lo tanto, cuanto menor sea la absorción, es más compacto y de mejor calidad. Se requieren agregados que cumplan con esta propiedad física y así garantizar una buena resistencia mecánica.
- **Densidad suelta.** Es la masa o el peso del agregado necesario para llenar un recipiente con un volumen unitario especificado. El volumen unitario es el ocupado



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



por los agregados y los vacíos que se generan entre las partículas de los agregados (NMX-C-073-ONNCCE, 2014).

- **Forma y Textura.** Influye en las propiedades del concreto fresco más que en las del concreto endurecido. Las partículas con textura áspera, angulares o alargadas requieren más cantidad de agua para producir concreto trabajable que los agregados lisos, redondeados y compactos. Además requieren más cemento para mantener la misma relación agua/cemento. Las formas perjudiciales son las muy alargadas y/o escamosas ya que tendrán una influencia objetable en la trabajabilidad, los porcentajes de cemento, la resistencia y la durabilidad.

2.2.2.2. Propiedades Químicas.

Lo más importante en las propiedades químicas es revisar que los agregados no presenten sustancias y componentes geológicos agresivos que puedan afectar la reacción entre la masa del concreto y así afectar su comportamiento mecánico en estado endurecido.

- **Reacción álcali-agregado.** La sílice activa, presente en algunos agregados, reacciona con los álcalis del cemento produciendo expansiones, destrucción de la masa y pérdida de características resistentes (Instituto del Concreto, 1997).

Los agregados con ciertos compuestos químicos o mineralógicos reaccionan con los álcalis del cemento esta reacción comienza cuando los álcalis (óxido de sodio y potasio) en el cemento entran en solución y atacan los silicatos reactivos en los agregados como resultado, se forma alcalescencia a hincharse. Este hinchamiento puede causar expansiones anormales y rompimiento del concreto. Existen medidas correctivas para cuando nos enfrentamos con un agregado potencialmente agresivo. Contamos con tres opciones para solucionar el problema: una es desechar simplemente el agregado para usarse en el concreto, otra opción sería la posibilidad de usar el agregado con un cemento con bajo contenido en álcalis y, por último, la expansión debida a algunas reacciones álcali-agregados puede eliminarse agregando una puzolana en la mezcla en cantidades suficientes.

2.2.2.3. Propiedades Mecánicas.

- **Resistencia.** El agregado grueso, en mayor medida que el fino, va a resultar relacionado con el comportamiento de las resistencias del concreto, por su aporte en tamaños de grano dentro de la masa de la mezcla. En tal sentido, una de las posibilidades de ruptura de la masa es por medio del agregado grueso (las otras son por la pasta y por la interface de contacto entre pasta y agregado). De esta manera, la resistencia de los agregados cobra importancia y se debe buscar que éste nunca falle antes que la pasta de cemento endurezca. La falla a través del



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



agregado grueso se produce bien sea porque tiene una estructura pobre entre los granos que constituyen las partículas o porque previamente se le han inducido fallas a sus partículas durante el proceso de explotación (especialmente cuando éste se hace por voladura) o por un inadecuado proceso de trituración.

- **Adherencia.** Es la interacción que existe en la zona de contacto agregado pasta, la cual es producida por fuerzas de origen físico-químico. Entre más adherencia se logre entre la pasta de cemento endurecida y los agregados, mayor será la resistencia del concreto. La adherencia depende de la calidad de la pasta de cemento y en gran medida, del tamaño, forma, rigidez y textura de las partículas del agregado, especialmente cuando se trata de resistencia a flexión. Hoy en día, no se conoce ningún método que permita medir la buena o mala adherencia de los agregados, pero es claro que aumenta con la rugosidad superficial de las partículas.
- **Dureza.** Esta propiedad que depende de la constitución mineralógica, la estructura y la procedencia del agregado. En la elaboración de concretos sometidos a elevadas tasas de desgaste por roce o abrasión, como aplicaciones en pavimentos o revestimientos de canales, la dureza del agregado grueso es una propiedad decisiva para la selección de los materiales (Neville & Brooks, 2010), Escala de Mohs de geología (es una relación de diez minerales ordenados por su dureza, de menor a mayor).

2.2.3. Agregado utilizado en la investigación.

El material inerte utilizado para la elaboración de morteros es la arena de origen volcánico; el más utilizado es la arena negra triturada y cribada proveniente de tezontle; no requiere de explosivos para la obtención del material y económicamente hablando el material es aceptable. El material inerte utilizado en la investigación para la elaboración de los especímenes de mortero es la arena del Banco de Materiales “Joyitas” el cual está ubicado en la carretera Morelia-Jiquilpan, kilómetro 14.5.

CENTRO SCT MICHOACÁN													MICH/12	
UNIDAD GENERAL DE SERVICIOS TÉCNICOS														
INVENTARIO DE BANCOS DE MATERIALES 2017														
CARRETERA: MORELIA - JIQUILPAN														
BCO. NUM.	NOMBRE	KILOMETRO	DESVIACION	FECHA ESTUDIO	FECHA DE ACT.	TIPO PROP.	TIPO MATERIAL	TRATA-MIENTO	VOLUMEN X 1000 M ³	ESPESOR DESPALME (m)	USOS PROB.	USO EXPL.	RESTRICC. ECOLOG.	ASPEC. ECONOM.
0002	JOYITAS	014+500	D 09000	NOV-14	NOV-14	PART.	TEZONTLE	TPC	0100	02.0	1-2-5-10	NR.	NO EXISTE	ACEP.

Ilustración 6. Inventario del banco "Joyitas".



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”

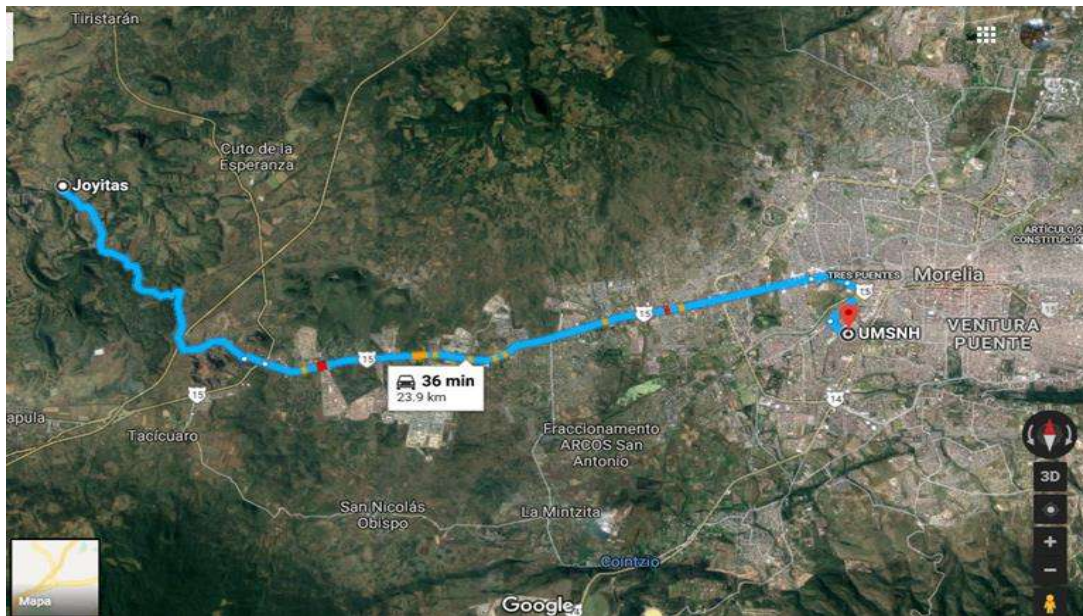


Ilustración 7. Ubicación del banco "Joyitas".

2.3. AGUA.

Prácticamente cualquier agua natural que sea potable y no presente fuerte sabor u olor se la puede usar como agua de mezcla para la preparación del concreto. Sin embargo también se pueden emplear en concreto algunas aguas que no se consideran potables. Se puede utilizar satisfactoriamente el agua para la preparación del concreto con menos de 2000 partes por millón (ppm) de sólidos disueltos. El agua que contiene más de 2000 ppm de sólidos disueltos se debe analizar para verificar su efecto sobre la resistencia y el tiempo de fraguado (NMX-C-122-ONNCCE, 2018).

El agua de mezclado, es probablemente el ingrediente menos costoso del concreto, pero a su vez de los más importantes. La cantidad de agua utilizada determina la resistencia a la compresión del concreto. Existe una relación inversa entre el contenido de agua de una mezcla y su resistencia a la compresión: al aumentar la cantidad de líquido, disminuye la resistencia. Es recomendable utilizar la mínima necesaria que permita el manejo y colocación adecuados del concreto y debe estar libre de ácidos, grasas y aceites, así como de materiales vegetales y orgánicos. Otra recomendación en el uso del agua es que no se utilice agua de mar debido a su alto contenido de sales y minerales que afectan las reacciones químicas del fraguado dando por resultado un concreto débil, altamente reactivo con el acero de refuerzo.

El exceso de impurezas en el agua de mezcla no sólo puede afectar el tiempo de fraguado y la resistencia del concreto, sino también puede causar eflorescencia, manchado, corrosión del esfuerzo, inestabilidad del volumen y reducción de la durabilidad. Por lo



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



tanto se pueden marcar ciertos límites opcionales para cloruros, sulfatos, álcalis y sólidos en el agua de mezcla.

En la Tabla 7, se indica el uso del agua en la construcción así como su determinada función.

Tabla 7. Uso y función del agua en la construcción (NMX-C-111-ONNCCE, 2018).

Uso del agua	Función
Mezclado	Reaccionar con el cemento (hidratación, fraguado y resistencia)
Curado	Mantener humedad adecuada (desarrollo de resistencia)
Lavado de agregados	Quitar impurezas (mayor calidad)

2.3.1. Especificaciones del agua en la construcción.

Las aguas a las que se refiere la norma (NMX-C-122-ONNCCE, 2018), que se pretendan usar para la elaboración y curado del mortero y/o concreto hidráulico, excluyendo de ellas las aguas de mar, deben cumplir con los requisitos que aparecen en la Tabla 8.

Tabla 8. Valores característicos y límites máximos tolerables de sales e impurezas en el agua (NMX-C-122-ONNCCE, 2018).

Sales e impurezas	Cementos ricos en calcio (límites en p.p.m.)	Cementos sulfuro-resistentes (límites en p.p.m.)
Sólidos en suspensión en aguas naturales (limos y arcillas)	2000	2000
En aguas recicladas (finos de cemento y agregados)	50000	35000
Cloruros, como Cl _(a) para concreto con acero de presfuerzo y piezas de puentes	400 _(c)	600 _(c)
Para otros concretos reforzados en ambiente húmedos o en contacto con metales como el aluminio, fierro galvanizado y otros similares	700 _(c)	1000 _(c)



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



Sulfato como SO ₄ (a)	3000	3500
Magnesio como Mg ⁺ (a)	100	150
Carbonatos como CO ₃	600	600
Dióxido de carbonato disuelto como CO ₂	5	3
Álcalis totales como Na ⁺	300	450
Total de impurezas en solución	3500	4000
Grasas o Aceites	0	0
Materia orgánica (oxígeno consumido en medio ácido)	150 (b)	150 (b)
Valor del pH	No menor de 6	No menor de 6.5
<p>(a) Las aguas que exceden los límites enlistados para cloruros, sulfatos y magnesios, pueden emplearse si se demuestra que la concentración calculada de estos compuestos en el agua total de la mezcla, incluyendo el agua de absorción de los agregados u otros orígenes, no exceden dichos límites.</p> <p>(b) El agua se puede usar siempre y cuando las arenas que se empleen en el concreto acusen un contenido de materia orgánica cuya coloración sea inferior a 2 de acuerdo con el método de la NMX-C-088-1997-ONNCCE.</p> <p>(c) Cuando se use cloruro de calcio CaCl₂ como aditivo acelerante, la cantidad de este debe tomarse en cuenta para no exceder el límite de cloruros de la tabla.</p>		

2.3.2. El agua utilizada en la investigación.

El agua utilizada proviene de la red de agua potable del Laboratorio de Materiales “Ing. Luis Silva Ruelas” de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. El agua se utilizó tal y como llega al laboratorio, esto con el fin de usarla lo más apegado a la realidad constructiva.

Como se sabe en la construcción no toman en cuenta la calidad del agua, se utiliza tal y como se suministra y no importa si está contaminada, en esta investigación se hizo asemejando a la realidad y se utilizó tal y como llega de la tubería.

2.4. MORTEROS.



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



Se denomina mortero a la mezcla de un conglomerante hidráulico con arena para unir elementos de construcción (ladrillos, bloques de concreto, etc.) y también para recubrimientos exteriores o interiores de muros.

Los albañiles de la antigua Roma denominaban *mortarius*, mortero, al recipiente en el cual amasaban y transportaban la mezcla de pasta de cal y arena. Con el paso del tiempo, este nombre fue adoptado para designar a la propia mezcla, que se ha utilizado para la construcción de cimentaciones, muros, pavimentos y revestimientos hasta la aparición del cemento Portland (Pérez, 2012).

El mortero puede considerarse como un microconcreto, razón por la cual muchas de sus características son comunes a las del concreto normal. Es una mezcla que no incluye agregado grueso sino solamente pasta de cemento, agregado fino y agua. La calidad apropiada de un mortero, especialmente si su uso es estructural (mampostería etc.) se obtiene proporcionando no solo cemento, agua y arena, sino también en mucho de los casos incluyendo aditivos para conseguir características especiales del mortero (Correa, 1984).

2.4.1. Características deseables de un mortero.

- **Trabajabilidad.** Una combinación de otras propiedades (consistencia, fluidez, peso, adherencia, etc.) que le dan al albañil mayor facilidad de colocar las piezas y levantar muros con la rigidez, durabilidad y resistencia requeridas en el menor tiempo posible.
- **Plasticidad.** Un mortero con buena plasticidad es aquel que durante su aplicación permanece blanco y moldeable, permitiendo que las piezas puedan ser alineadas y niveladas correctamente antes del fraguado. Una pérdida rápida de plasticidad puede provocar el fraguado prematuro, lo que afectaría la adherencia del mortero y la hermeticidad de las juntas.
- **Adherencia.** Grado de fuerza con el que se unen el mortero, cuando fragua, y las piezas en que se aplicó. De este factor depende la resistencia a la flexión, es decir, la cantidad de fuerza que se requeriría posteriormente para separarlos.
- **Durabilidad.** Capacidad del mortero para soportar la acción del intemperismo.
- **Resistencia.** Del proporcionamiento de los componentes del mortero y del tipo y cantidad del material cementante utilizado al prepararlo, depende su capacidad de resistencia a los esfuerzos de compresión a los que será sometido.
- **Apariencia.** Capacidad del mortero para conservar, a través del tiempo, a presentación que se dio originalmente.



2.4.2. Tipos de Morteros.

La clasificación de los morteros es muy amplia e implica una gran cantidad de variables, en este caso solo nos enfocaremos en los morteros según su tiempo o tipo de fraguado así como su composición química o física dependiendo el uso para el cual se diseñe:

- **Mortero físico.** El paso del estado pastoso o semilíquido a un sólido se presenta mediante el secado o fraguado que se da sin recursos químicos, esto puede aplicarse a los morteros de barro, morteros de suelo refractario, morteros de asfalto y los modernos morteros con adhesivos a base de materiales sintéticos.
- **Mortero químico.** El fraguado se lleva a cabo por medio de una reacción química, por ejemplo en este tipo de mortero se cuenta con los morteros de cal, cemento, yeso y mortero comercial. Las mezclas entre estos tipos de morteros y el empleo de distintos aditivos también se hacen frecuentes.
- **Mortero aéreo.** Es aquel que fragua al contacto con el aire, como los morteros de arcilla, yeso y cal hidratada.
- **Mortero bituminoso.** Son los morteros en los cuales se emplean emulsiones asfálticas o cemento asfáltico para su elaboración.
- **Mortero hidráulico.** Tiene la propiedad de endurecer rápidamente, además tiene las propiedades de fraguar en contacto con el agua o en presencia de humedad como el yeso hidráulico, cal hidráulica, mortero comercial y de cemento (Mendoza Anaya, Brito Benitez, & Arenas Alatorre, 2004). La norma ASTM-C-270-14, establece los diferentes tipos de morteros así como parámetros de resistencia y contenido de aire que deben cumplir; describe también la combinación entre ellos y algunas de las propiedades Tabla 9.

Tabla 9. Propiedades requeridas por especificación para cada tipo de mortero (ASTM C270, 2014).

Mortero	Tipo	Esfuerzo a compresión promedio a 28 días, mínimo, psi (MPa)	Retención de agua, mínimo, %	Contenido de aire máximo, %, b
Cemento-Cal	M	2500 (17.2)	75	12
	S	1800 (12.4)	75	12
	N	750 (5.2)	75	14 _c
	O	350 (2.4)	75	14 _c



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



Mortero-Cemento	M	2500 (17.2)	75	12
	S	1800 (12.4)	75	12
	N	750 (5.2)	75	14 _c
	O	350 (2.4)	75	14 _c
De Cemento Para Albañilería	M	2500 (17.2)	75	18
	S	1800 (12.4)	75	18
	N	750 (5.2)	75	20 _d
	O	350 (2.4)	75	20 _d
ESPECIFICACIONES.				
Todas las especificaciones de la tabla deben ser obtenidas en laboratorio.				
b) El contenido de aire de morteros de CPO-Cal sin inclusión de aire es generalmente menor que 8%.				
c) Cuando es incorporado acero de refuerzo en morteros de cemento para albañilería, el contenido máximo de aire debe ser de 18%.				

2.5. ADICIONES.

Las adiciones son materiales minerales que se incorporan al cemento, generalmente en molienda conjunta como ciertas rocas naturales o no (puzolanas, escoria granulada de alto horno, caliza, microsilice) que actúan, o bien aumentando las propiedades hidráulicas del cemento o mejorando otras cualidades debido a una adecuada granulometría (aumento de la trabajabilidad y retención de agua, disminución de la porosidad y capacidad, reducción de la fisuración), etc.

2.5.1. Tipos de adiciones.

Los tipos de adiciones para el cemento son (Calleja, 1977):

- **Las Escorias.** Es un producto no metálico consistente esencialmente de silicatos y aluminio-silicatos de calcio con impurezas de hierro que se obtiene en estado fundido en los altos hornos.
- **Escoria granulada de horno alto.** La escoria granulada de horno alto posee propiedades hidráulicas cuando se activa de manera adecuada. La escoria granulada de horno alto debe estar constituida por lo menos dos tercios de masa de la suma de CaO, MgO y SiO₂. El resto contiene Al₂O₃, junto con pequeñas cantidades de otros óxidos. La escoria granulada de horno alto se obtiene por



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



enfriamiento rápido de una escoria en estado de fusión de composición adecuada, procedente de la fusión del mineral de hierro en un horno alto.

- **Las Puzolanas.** Son sustancias naturales o industriales silíceas o silicoaluminosas, o una combinación de ambas. Por lo que respecta a las puzolanas llamadas naturales, éstas pueden ser rocas volcánicas de naturaleza diversa: traquítica alcalina, pumicítica, tobácea, etc., o también rocas de origen orgánico: tierras de diatomeas (algas) o de infusorios (protozoos radiolarios) de carácter fósil -"trípoli", "kieselgur"-, con naturaleza y composición a base de sílice activa.
- **Cenizas volantes.** Son un subproducto de los hornos que emplean carbón mineral como combustible para la generación de energía y constituyen en sí las partículas no combustibles removidas de las chimeneas de gases. Las cenizas volantes utilizadas en el concreto deben tener conformidad con la norma (ASTM C618, 2019). La cantidad de ceniza volante en el concreto puede variar entre el 5 y el 65% en peso de los materiales cementantes, según la fuente y la composición de la ceniza volante y del desempeño requerido al concreto. Las características de la ceniza volante pueden variar significativamente según la fuente del carbón mineral que se quema. Las cenizas de Clase F son normalmente producidas de la quema de la antracita o de carbones bituminosos y generalmente poseen un contenido bajo de calcio. Las cenizas de Clase C son producidas cuando se queman carbones sub-bituminosos y poseen típicamente propiedades puzolánicas.
- **Los "Fillers".** Con este nombre se designan las adiciones que, generalmente en pequeñas proporciones, acompañadas o no de otras, se añaden al clinker con objeto de aumentar y/o abaratar en parte la producción de cemento, y de contribuir al ahorro energético -en cocción y en molienda- de dicha producción, sin olvidar los efectos benéficos dispersantes y aceleradores de la hidratación del cemento, y las acciones epitáxicas que pueden ejercer en los concretos. Es un subproducto que se origina en la reducción de cuarzo de elevada pureza con carbón de hornos eléctricos de arco, para la producción de silicio y aleaciones de ferrosilicio. Está constituido por partículas esféricas muy finas con un elevado contenido de sílice amorfa.

2.6. MATERIAL EN ESTUDIO COMO ADICIÓN AL MORTERO.

Se buscan adiciones al mortero para mejorar las propiedades químicas, físicas y mecánicas del mortero, las adiciones con materiales orgánicos son con el fin de evitar una mayor contaminación en la producción del cemento Portland ordinario y así generar que el costo económico baje considerablemente, tomando en cuenta que los morteros con adiciones sean más durables que los morteros convencionales.



2.6.1. Almidón.

Se trata de un polvo fino, de color blanco, que se obtiene de los granos de arroz y que no tiene olor. Destaca por sus propiedades suavizantes y su gran poder de absorción. Suele formar parte de los carbohidratos que se ingieren de manera habitual a través de los alimentos; en estado natural se presenta como partículas complejas que, en presencia de agua, forman suspensiones de poca viscosidad. Su composición es principalmente de glucosa, aunque puede haber otros componentes presentes en menor cantidad. Los seres humanos al consumir dichas plantas adquieren las propiedades de éstos, por lo tanto, los almidones como la hidrólisis del almidón constituyen la mayor parte de los carbohidratos digeribles de la dieta habitual, proporcionando así entre el 70 y 80% de las calorías consumidas y necesarias por los seres humanos (QuimeNet.com, 2011), el almidón o fécula de arroz, se utiliza como agente espesante en multitud de productos alimenticios.

Los carbohidratos son unas biomoléculas que también toman los nombres de hidratos de carbono, glúcidos, azúcares o sacáridos; aunque los dos primeros nombres, los más comunes y empleados, no son del todo precisos, ya que no se tratan estrictamente de átomos de carbono hidratados, pero los intentos por sustituir estos términos por otros más precisos no han tenido éxito. Estas moléculas están formadas por tres elementos fundamentales: el carbono, el hidrógeno y el oxígeno, este último en una proporción algo más baja (QuimeNet.com, 2011).

Los almidones comerciales se obtienen de las semillas de cereales, particularmente del maíz, el trigo, del arroz y de algunas raíces y tubérculos como de la papa o mandioca, clasificándose de la siguiente manera (Colín Velazquez, 2016).

- Almidón de maíz.
- Almidón de papa.
- Almidón de trigo.
- Almidón de arroz.
- Almidón de centeno, cebada y avena.
- Almidón de legumbre (frijoles, lentejas, chicharos, garbanzos).

2.6.2. Almidón de arroz.

El almidón de arroz está compuesto principalmente por dos polímeros: amilosa y amilopectina. Su composición aproximada es 80% de amilopectina y un 20% de amilosa, aunque esta cantidad puede variar en función de la variedad y el procesado. Además tiene asociados otros constituyentes menores como proteínas, lípidos y componentes fosfóricos. El almidón de arroz presenta una cantidad baja de amilosa, se absorbe de forma rápida y tiene un índice glucémico relativamente alto, Los gránulos de almidón de arroz tienen un tamaño bastante pequeño de 2 micras (Juliano, 1994).



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



El almidón de arroz es bastante digerible y además hipoalergénico, tiene color blanco y un sabor suave, presenta buena resistencia a los ácidos y es más estable al proceso de congelación y descongelación que el almidón de otros cereales.

El almidón se conserva en el endospermo de los granos de arroz, en el endospermo también se encuentran cuatro tipos de proteínas (glutelina, prolamina, globulina y albúmina), estas proteínas se adhieren a la superficie del almidón y son difíciles de eliminar, dependiendo del método de aislado, el residuo de proteínas del almidón puede ser mayor o menor; en la ilustración 14 se puede ver el almidón de arroz.

La solubilidad y la capacidad de aumento de volumen, es mayor al aumentar la temperatura, los almidones pueden tener diferencias de aumento de volumen y aglutinación, en función de su organización y la cantidad de amilosa y amilopectina que tengan.

El pulido de arroz es un producto rico en proteína (15%), y en aceite (10-20%). Aportan considerables cantidades de vitaminas del grupo B, y de fósforo. Tiene un sistema enzimático muy activo, que le da bastante inestabilidad durante el almacenamiento (Estévez, 2005).

Tabla 10. Composición nutricional del arroz integral y arroz blanco (b6 consultores, 2014).

Nutriente	Arroz Integral	Arroz blanco
Calorías (Kcal)	364	350
Carbohidratos (g)	81.6	74
Proteínas (g)	6.7	4.3
Grasas (g)	0.9	2.2
Fibra (g)	1.4	2.2
Calcio (mg)	14	21
Magnesio (mg)	31	110
Zinc (mg)	1.5	1.6
Ácido Fólico (mg)	20	49
Fósforo (mg)	150	310
Potasio (mg)	109	238
Niacina (mg)	4.87	6.6



2.6.2.1. Morfología del arroz.

El grano de arroz (arroz con cáscara o paddy) se compone de una cubierta protectora exterior, la cáscara y la cariósipide o fruto del arroz (arroz integral o pardo, llamado también arroz descascarillado), cómo se puede observar en la Ilustración 8. El arroz integral o pardo se compone de las capas exteriores: pericarpio, tegumento o cubierta seminal y nucela; del germen o embrión; y del endospermo. Éste se compone de la capa de aleurona, consistiendo el endospermo propiamente dicho en la capa de subaleurona y en el endospermo amiláceo o interno. La capa de aleurona contiene al embrión. El pigmento de color pardo del arroz integral lo contiene el pericarpio que sería la capa más externa del grano (Juliano, 1994) .

Las células de la aleurona y del embrión son ricas en compuestos proteínicos, que contienen fitatos, y compuestos grasos (Juliano, 1994). Las células del endospermo son de pared delgada y están envueltas en amiloplastos que contienen gránulos de almidón compuesto. Las dos capas de las células más exteriores (las subaleuronas) abundan en proteínas y lípidos y tienen amiloplastos y gránulos de almidón compuesto más pequeño que el endospermo interior (Juliano, 1994).

La capa de aleurona del grano, es una capa llena de grasas que son altamente susceptibles a la oxidación.

El salvado está formado por las capas más externas del grano, concretamente el pericarpio, testa y aleurona, que son eliminadas en el proceso de refinado del arroz blanco para el consumo humano. Es decir, la capa que rodea al cereal es la que normalmente se deshecha para elaborar el arroz blanco.

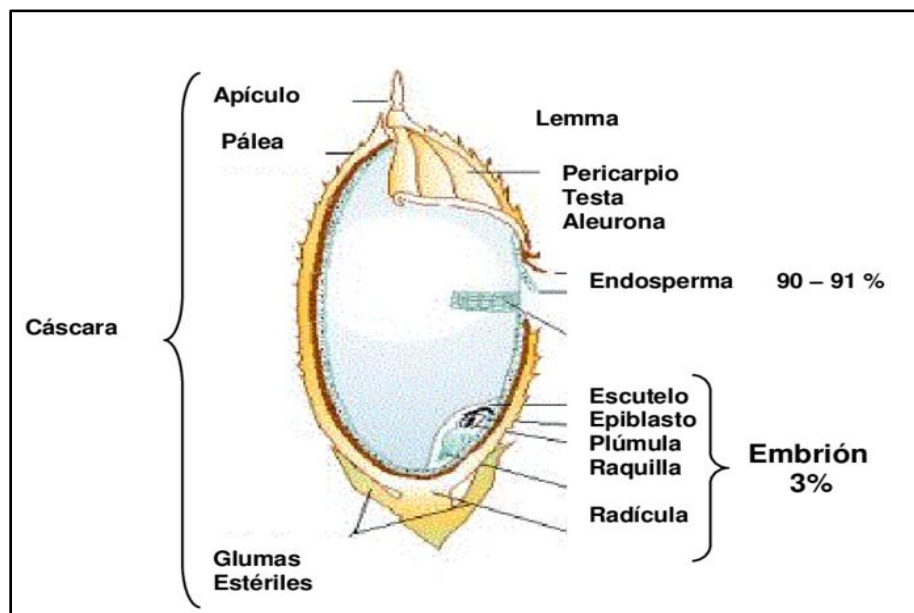


Ilustración 8. Morfología del arroz (Olmos, 2006).



2.6.2.2. Polímeros principales del almidón de arroz.

El almidón está formado por unidades de glucosa unidas entre sí que dan origen a dos moléculas diferentes: amilosa y amilopectina.

Amilosa.

Molécula lineal de almidón que está constituida por muchos anillos de glucosa unidos entre sí para formar largas moléculas que no tienen ramificaciones.

El contenido de amilosa del almidón del arroz es el principal factor para su aceptabilidad. Guarda relación directa con la expansión del volumen y la absorción de agua durante la cocción y con la dureza o consistencia, blancura y opacidad del arroz cocido. La amilosa es soluble en agua y más fácilmente hidrolizable que la amilopectina (es más fácil romper su cadena para liberar las moléculas de glucosa), (Haard, 1996).

Amilopectina (nutritienda, 2010).

Molécula del almidón que tiene ramificaciones y está constituida por muchos anillos de glucosa unidos entre sí para formar largas moléculas con numerosas ramificaciones laterales cortas. Permite que el grano de arroz quede esponjoso y separado con poca tendencia a pegarse una vez se ha cocido. La amilopectina presenta alto peso molecular, lo que le confiere una baja osmolaridad (La medida del número total de solutos en una solución medida en osmoles/litro) y un paso rápido a través del estómago, mucho más rápido que otras moléculas como los azúcares o la maltodextrina (es una mezcla de polímeros de glucosa que aparecen como resultado de la hidrólisis del almidón).

La amilopectina es un polisacárido de glucosa común en plantas, representa más del 70% del peso del almidón, gastronómicamente consigue que el arroz resulte más tierno y pegajoso.

2.6.2.3. Almidón utilizado en la investigación.

El arroz utilizado en la investigación es obtenido en tiendas o mercados de Morelia, Michoacán; México. (No es el arroz empaquetado comercial), se utilizó 1 ½ kg de arroz y se procedió al molido en un molino eléctrico de la marca “Veyco” (Ilustración 10) perteneciente al Laboratorio de Materiales “Ing. Luis Silva Ruelas” de la Facultad de Ingeniería Civil de la UMSNH. Posteriormente se realizó el análisis granulométrico del material molido mediante el aparato Raf-Tap (Ilustración 11), en esta investigación se utilizó solamente el material que pasó la malla #50 (Ilustración 12). El material de almidón de arroz utilizado en la elaboración de las mezclas de mortero se mezcló entre sí mismo con la ayuda de una espátula para tener un material representativo y compuesto



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



(Ilustración 13), ya que se tenía tres materiales el retenido en la malla #100, #200 y Charola.



Ilustración 9. Arroz utilizado en la investigación.



Ilustración 10. Aparato utilizado para el molido del arroz.



Ilustración 11. Análisis granulométrico por medio del aparato Raf-Tap.



Ilustración 12. Material retenido en la malla #100, #200 y charola.



Ilustración 13. Mezclado del material a utilizar.

2.7. ADITIVOS.

Los aditivos son aquellos ingredientes del concreto que, además del cemento Portland, del agua y de los agregados, se adicionan a la mezcla inmediatamente antes o durante el mezclado. Se utilizan con el propósito fundamental de modificar convenientemente el comportamiento del concreto en estado fresco, y/o de inducir ó mejorar determinadas propiedades deseables en el concreto.

Los aditivos son químicos que se agregan al concreto en la etapa de mezclado para modificar algunas de sus propiedades de la mezcla que nunca deben ser considerados un sustituto de un buen diseño de mezcla, de mano de obra o del usos de buenos materiales (IMCYC, 2016).



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



Tienen la función de mejorar las propiedades mecánicas, físico químico, químico o físicas. También pueden prevenir el deterioro del concreto de algún agente externo como la exposición a la salinidad, condiciones de alta humedad, exposición a corrientes sulfatadas. El aditivo es una sustancia química usada en la dosificación del concreto, se utiliza máximo en un 5% de la masa del cemento, con la finalidad de cambiar ciertas propiedades para que el material se adapte de mejor manera a las necesidades del constructor.

2.7.1. Tipos y usos (ASTM C494/C494M, 2017):

Los aditivos se pueden clasificar según sus funciones, como a continuación:

- Aditivos incorporadores de aire (inclusores de aire).
- Aditivos reductores de agua.
- Plastificantes (fluidificantes).
- Aditivos aceleradores (acelerantes).
- Aditivos retardadores (retardantes).
- Aditivos de control de la hidratación.
- Inhibidores de corrosión.
- Reductores de retracción.
- Inhibidores de reacción álcali-agregado.
- Aditivos colorantes.
- Aditivos diversos, tales como aditivos para mejorar la trabajabilidad (manejabilidad), para mejorar la adherencia, a prueba de humedad, impermeabilizantes, para lechadas, formadores de gas, anti-deslave, espumante y auxiliares de bombeo.

El concreto debe ser trabajable, fácilmente acabado, fuerte, durable, estando y resistente al desgaste. Estas calidades se les pueden obtener fácil y económicamente con la selección de los materiales adecuados preferiblemente al uso de aditivos.

Las razones principales para el uso de aditivos son:

1. Reducción del costo de la construcción del concreto.
2. Obtención de ciertas propiedades en el concreto de manera más efectiva que otras.
3. Mantenimiento de la calidad del concreto durante las etapas del mezclado, transporte, colado (colocación) y curado en condiciones de clima adverso.
4. Superación de ciertas emergencias durante las operaciones de mezclado, transporte, colocación y curado.



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



A pesar de estas consideraciones, se debe observar que ningún aditivo de cualquier tipo o en cualquier cantidad se lo puede considerar como un sustituto de las buenas prácticas de construcción. La eficiencia de un aditivo depende de factores tales como: tipo, marca y cantidad de material cementante; contenido de agua; forma, granulometría y proporción de los agregados; tiempo de mezclado y temperatura del concreto (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004).

3. METODOLOGÍA

3.1. MUESTREO Y PRUEBAS A AGREGADOS UTILIZADOS.

3.1.1. Cemento Portland Ordinario.

El cemento utilizado para la experimentación fue un CPC 30R Extra Tolteca de la marca CEMEX.

Características del cemento utilizado:

El cemento CPC 30R Extra está especialmente formulado para reducir la aparición de grietas por contracción plástica en el concreto expuesto a condiciones ambientales extremas, mejorar la consistencia de la mezcla, producir una mezcla más fácil de manejar y evitar el proceso de curado (CEMEX, 2019).

Ventajas:

- Reduce la aparición de grietas generadas por contracción plástica que se promueven en condiciones ambientales extremas de alta temperatura y velocidad del viento.
- Genera a las mezclas de concreto mayor cohesión, adherencia y trabajabilidad, aún con agregados problemáticos.
- Reduce el riesgo y la segregación de las mezclas de concreto.
- Sustituye el uso de membranas de curado, al promover por sí mismo el proceso de curado, lo que representa ahorros significativos en las obras al evitar retrasos por acciones preventivas y/o reparaciones posteriores.

En la Tabla 11 se presenta las normas NMX y ASTM para la caracterización del cemento hidráulico.



**“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado
con almidón de arroz”**



Tabla 11. Norma mexicana y americana que rigen para la caracterización del cemento hidráulico (NMX-C-414-ONNCCE, 2017).

PRUEBA	NORMA MEXICANA	ASTM/AASTHO
Especificaciones y métodos de ensayo.	NMX-C-414-ONNCCE-2017	ASTM C150-16
Determinación de la densidad.	NMX-C-152-ONNCCE-2015	ASTM C188-15 Y AASTHO T 133-12
Determinación de la consistencia normal.	NMX-C-057-ONNCCE-2015	ASTM C187-16 Y AASHTO T 129-14
Determinación del tiempo de fraguado de cementantes hidráulicos (Método Vicat).	NMX-C-059-ONNCCE-2017	ASTM C191-18 Y ASTM C266-18
Requisitos para el aparato usado en la determinación de la fluidez de morteros.	NMX-C-144-ONNCCE-2015	ASTM C230/C230M-14 Y AASHTO M 152-16
Gabinetes, cuartos húmedos y tanques de almacenamiento – condiciones de diseño y operación.	NMX-C-148-ONNCCE-2010	ASTM C511-13
Determinación estándar para el mezclado de pastas y morteros de cementos hidráulicos.	NMX-C-085-ONNCCE-2015	ASTM C305-14
Determinación de la resistencia a la compresión de cementantes hidráulicos.	NMX-C-061-ONNCCE-2015	ASTM C109-16
Agua para concreto- Especificaciones.	NMX-C-122-ONNCCE-2018	ASTM C1602/ C1602M-18
Prueba de fluidez al mortero.	NMX-C-061-ONNCCE-2015	ASTM C230/C230M-14 Y AASHTO M 152-16

3.1.1.1. Densidad aparente del cemento (Navarro Sánchez, Martínez Molina, & Espinoza Mandujano, 2011).

OBJETIVO. Determinar la densidad aparente o el peso por unidad de volumen sin tomar en cuenta los vacíos del cemento. Su utilidad práctica es para el proporcionamiento del concreto.



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



MATERIAL.

Una muestra representativa del cemento tal y como se recibe a menos de indicaciones especiales, como calcular la densidad en una muestra exenta de pérdida por calcinación, primero en este caso debe calcinarse como se describe en las normas DGN C 131 y ASTM C 114.

EQUIPO.

- Frasco de Le Chatelier.
- Balanza con aproximación a los 0.1 gramos.
- Queroseno exento de agua, o nafta cuya densidad no sea menor de 62 API o petróleo.
- Un recipiente con agua.
- Un termómetro.

PROCEDIMIENTO.

La práctica consiste en que conocido un peso de cemento le calculamos su volumen por medio de desplazamientos de líquido.

1. Se vierte el líquido (petróleo) no mezclable con agua en el frasco de Le Chatelier hasta un nivel de entre 0 y 1 ml.
2. Como quedara líquido adherido en las paredes del frasco además de burbujas de aire se gira sobre un círculo horizontal sumergiendo la parte inferior del frasco en un baño de agua a la temperatura del líquido con la finalidad que se establezca un nivel del líquido.
3. Se toma la lectura en la parte inferior del menisco y se anota como lectura inicial del líquido (Li).
4. Se pesa alrededor de 60 gramos de cemento portland, con la finalidad que al vertirlo en el frasco el líquido alcance a sobre pasar a lecturas superiores a la esfera intermedia (Ilustración 14).
5. Se sujeta el frasco en forma vertical, se agrega el cemento muy lentamente de manera que el cemento vaya pasando al interior sin obstruirse (Ilustración 15).
6. Se coloca el tapón del frasco se inclina y rueda horizontalmente de manera de lograr que salga el aire atrapado en el cemento y baje el que haya quedado en las paredes.



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



7. Se repite el paso N° 2 para lograr que se establezca nuevamente el nivel del líquido hasta lograr que sea repetidamente la misma lectura (Ilustración 16).
8. Se toma la lectura de la parte inferior del menisco tomando como la lectura final registrándola como (Lf).



Ilustración 14. Peso del cemento.



Ilustración 15. Se agrega cemento al vaso Le chatelier.

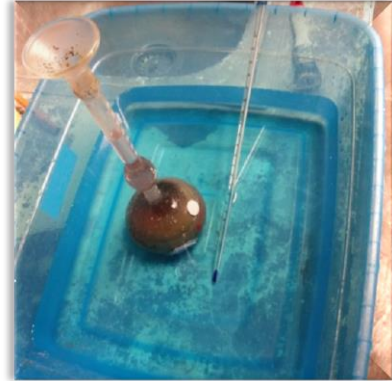


Ilustración 16. Baño de agua final.

CÁLCULOS.

Con la fórmula (1) se calcula la Densidad aparente del cemento.

$$\text{Densidad} = \frac{P}{\text{Vol}} = \frac{60\text{gr}}{\text{Lf} - \text{Li}} \quad (1)$$

Dónde:

Densidad= Densidad aparente del cemento (gr/cm^3).

P= Peso de la muestra (gr).

Vol.= Volumen del cemento sin tomar en cuenta los vacíos (cm^3).

RESULTADOS.

Reporte los datos obtenidos aproximándolos al $0.01 \text{ gr}/\text{cm}^3$.

El peso específico relativo del cemento Portland tipo I (CPO 30, CPO 30R y CPC 30R), oscila entre 3.10 y 3.20. Cuando el tipo de obra no justifica la determinación exacta del peso específico relativo del cemento, se puede usar el valor de 3.15.



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



PRECISIÓN.

Se ha encontrado que la desviación estándar, obtenida a través de las determinaciones efectuadas por el mismo operador es de 0.012gr/cm^3 . Por lo tanto, los resultados de dos ensayos realizados correctamente por el mismo operador, en el mismo laboratorio, sobre la misma muestra; no deben diferir una de otra por más de 0.03gr/cm^3 .

Se ha encontrado que la desviación estándar, obtenida a través de las determinaciones efectuadas en ensayos multilaboratorio es de 0.037gr/cm^3 . Por lo tanto, los resultados de dos ensayos realizados correctamente en dos laboratorios diferentes, sobre la misma muestra no deben diferir en más de 0.10gr/cm^3 .

REFERENCIA.

(NMX-C-152-ONNCCE, 2015).

(ASTM C188, 2017) Y (AASHTO T 133, 2012).

3.1.1.2. Consistencia normal del cemento.

OBJETIVO. Obtener la cantidad de agua necesaria para combinarla con un determinado peso de cemento para que sirva como referencia para efectuar las pruebas de sanidad del cemento, resistencia a la tensión y determinación de los tiempos de fraguado.

EQUIPO.

- Muestra representativa de cemento.
- Agua destilada o limpia.
- Balanza con aproximación al décimo de gramo.
- Pesas con las variaciones permitidas en la tabla A.S.T.M. C-187-55.
- Probeta graduada de 100 y 200 mililitros con aproximación a 1 y 2 mililitros respectivamente.
- Aparato Vicat.
- Cristal liso.

DEFINICIÓN.

Consistencia normal:

Es la cantidad de agua necesaria para que la aguja de 1 cm de diámetro del aparato de Vicat, penetre dentro de la pasta de cemento elaborada con dicha agua, $10\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$ bajo la superficie libre, durante 30 segundos después de haber iniciado la prueba.



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



PROCEDIMIENTO.

Debido a lo laborioso de la explicación del desarrollo, lo desglosaremos en los siguientes incisos.

- a) Obtención de la muestra representativa de cemento.
- b) Preparación de la pasta de cemento.
 1. Se pesan 500 gr de cemento y se vierten sobre una mesa con superficie lisa e impermeable y se forma una especie de cráter con el cemento ayudados con una pequeña espátula.
 2. Se fija una cantidad de agua expresada en porcentaje respecto al peso del cemento seco ($\%agua = (agua/cemento) * (100)$), se mide en la probeta graduada y se vierte en el centro del cráter (iniciar el cronometro al caer el agua sobre el cráter).
 3. Con la espátula, se lleva el material de las orillas del cráter hacia el centro hasta lograr que todo el cemento se humedezca. (Esto se debe hacer en un máximo de 30 segundos).
 4. En otro tiempo de 30 segundos consecuentes a los anteriores se deja reposar la mezcla para que la humedad se homogenice. (Aprovechando el operador a colocarse guantes de hule ligeramente húmedo).
 5. Se hace el amasado de la pasta en un tiempo global de 1.5 minutos contados a partir de los anteriores.
 - 5.a) En los primeros 30 segundos se mezcla perfectamente la masa con las manos, golpeando la mezcla, con la parte pesada de las manos hasta lograr una pasta uniforme y homogénea.
 - 5.b) En otros 30 segundos se forma una esfera con la pasta y se pasa de una palma a otra a una distancia de aproximada de 15 centímetros, este ciclo de pasar de una mano a otra se debe repetir 6 veces terminado lo anterior.
 - 5.c) En los últimos 30 segundos de los 1.5 minutos, descansamos la bola en la palma de la mano, se introducirá a presión por la boca mayor del anillo cónico del aparato de Vicat, el cual se sostendrá con la otra mano llenando completamente el anillo con pasta (la otra boca se descansará sobre un cristal). El exceso de esta que permanezca en la boca grande se removerá con un movimiento simple de la palma de la mano. A continuación, se colocará el anillo descansando en su base mayor, sobre una placa de vidrio y se enrasa la boca superior con una pasa de boca de albañil o una espátula que se mantendrá formando un pequeño ángulo en el borde la cuchara durante las operaciones de enrasado y enlisado, debe tenerse cuidado de no comprimir la pasta.



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



6. Determinación de la consistencia. La pasta confinada en el anillo que descansa sobre una placa, debe centrarse debajo de la barra B, cuyo extremo que forma un embolo se pondrán en contacto con la superficie de la pasta y se apretara el tornillo sujetador después se colocara el indicador móvil F en la marca cero en la parte superior de la escala o se hará una lectura inicial (todo lo anterior se puede hacer previo al realizado de la mezcla para ya no entretenerse ya que esto se debe de hacer dentro de los 30 segundos) cómo se ve en la Ilustración 17.



Ilustración 17. Consistencia normal del cemento.

RECOMENDACIONES.

- El tiempo máximo del proceso de preparación de la mezcla del cemento y la toma de lectura de la penetración es de 4 ½ minutos. Cualquier prueba realizada en un tiempo mayor, no es confiable y deberá repetirse.
- En cada intento debe utilizarse cemento fresco, no debe remoldearse la pasta para un nuevo volumen de agua (Pesar de nuevo cemento y agua en cada intento).
- La temperatura del aire en la vecindad de la batea (Mezcladora mecánica), el cemento seco, moldes y la placa base debe estar entre los 20 y 27.5 °C.
- La temperatura del agua de la mezcla no debe variar de 23 °C con ± 1.7 °C.
- La humedad relativa del laboratorio no debe ser menor del 50%.

REFERENCIA.

(NMX-C-057-ONNCCE, 2015).
(ASTM C187, 2016) Y (AASHTO T 129, 2014).



3.1.1.3. Método de prueba estándar para el tiempo de fraguado del cemento hidráulico.

OBJETIVO. Determinar los tiempos de fraguado inicial y final del cemento hidráulico mediante las agujas de Gillmore.

EQUIPO.

- Aparato de Gillmore.
- Balanzas.
- Pesas.
- Probetas graduadas.

DEFINICIONES.

Tiempo de fraguado inicial:

Es el tiempo que transcurre, a partir del momento de contacto inicial del cemento con el agua, hasta que el mortero obtenido por el cribado del concreto presenta una resistencia a la penetración de 3.4 MPa (35 kgf/cm²).

Tiempo de fraguado final:

Es el tiempo que transcurre, a partir del momento que el cemento entra contacto con el agua, hasta que el mortero obtenido por el cribado del concreto presenta una resistencia a la penetración de 27.5 MPa (280 kgf/cm²).

PROCEDIMIENTO.

Temperatura y humedad.

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

Preparación de la pasta de cemento.

Siguiendo el procedimiento descrito en la preparación de mezcla para la consistencia normal del cemento, se mezcló 300 gramos del cemento con el agua necesaria para su consistencia normal (NMX-C-057-ONNCCE, 2015).

Moldeado del espécimen.

Con la pasta de cemento preparada y sobre una placa de vidrio cuadrada, plana y limpia de aproximadamente 4" por lado, se hace una pastilla de poco más o menos 7.5 centímetros de diámetro y 1.3 centímetros de espesor en la parte central, disminuyendo



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



hacia los bordes. Para moldearla, se aplanan primero la pasta de cemento sobre el vidrio y se forma después moviendo la cuchara desde los bordes hacia el centro, aplanando a continuación la parte central superior, se coloca la pastilla en el cuarto húmedo y se deja ahí, salvo cuando vaya efectuarse determinaciones del tiempo de fraguado.

Determinación de los tiempos de fraguado.

Al determinar el tiempo de fraguado, se mantienen las agujas en posición vertical y se ponen en contacto ligeramente con la superficie de la pastilla, se considera que el cemento ha alcanzado su fraguado inicial cuando soporta a las agujas de Gillmore inicial (la menos pesada), sin que marque huellas apreciables. Se considera que el cemento ha alcanzado su fraguado final cuando soporta la aguja de Gillmore Final (la más pesada), sin que marque huella apreciable como se ve en la Ilustración 18 (ASTM C266, 2018).



Ilustración 18. Determinación del fraguado inicial.

RECOMENDACIONES.

El tiempo de fraguado se afecta no solo por el porcentaje y temperatura del agua empleada, y cantidad de amasado que haya recibido la pasta, sino también por la temperatura y humedad, entonces su determinación es solo aproximada.

REFERENCIA.

(NMX-C-059-ONNCCE, 2017).
(ASTM C191, 2018) Y (ASTM C266, 2018).

3.1.2. Agregado fino (arena).

Agregado fino: Material obtenido de manera natural o de la trituración de rocas, escoria volcánica, concreto reciclado o una combinación de estos u otros; que pasa por la criba 4,75 mm (malla No.4) y se retiene en la criba 0,075 mm (malla No. 200).



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



En la Tabla 12 se observan la norma mexicana y americana que rige para las pruebas realizadas a los agregados pétreos en este caso en particular a la arena.

Tabla 12. Norma mexicana y americana que rigen para la caracterización del agregado pétreo (NMX-C-111-ONNCCE, 2018).

PRUEBA	NORMA MEXICANA	NORMA ASTM
Prueba estándar para el muestreo de agregados.	NMX-C-030-ONNCCE-2004	ASTM D75/D75M-14
Reducción de las muestras de agregados obtenidas en el campo al tamaño requerido de las pruebas.	NMX-C-170-ONNCCE-1997	ASTM C702-03
Método de ensayo contenido de agua por secado.	NMX-C-166-ONNCCE-2018	ASTM C566-13
Método de prueba estándar para la masa unitaria en agregados.	NMX-C-073-ONNCCE-2004	ASTM C29/C 29M-17
Método de prueba estándar para la densidad relativa y absorción del agregado fino.	NMX-C-165-ONNCCE-2014	ASTM C128-15
Método de prueba estándar para la densidad relativa y absorción del agregado grueso.	NMX-C-164-ONNCCE-2014	ASTM C127-15
Método de prueba estándar para materiales finos que pasan la malla No. 200 en agregados por lavado.	NMX-C-084-ONNCCE-2018	ASTM C117-17
Método de prueba estándar para terrones de arcilla en agregados.	NMX-C-071-ONNCCE-2004	ASTM C142-17
Determinación de impurezas orgánicas en el agregado fino.	NMX-C-088-ONNCCE-1997	ASTM C40-19
Método de prueba estándar para el análisis granulométrico de agregados finos y gruesos.	NMX-C-077-ONNCCE-1997	ASTM C 136-14
Método de prueba estándar para el valor de equivalente de arena de suelos y agregado fino.	NMX-C-416-ONNCCE-2003	ASTM D2419-14
Determinación de partículas ligeras.	NMX-C-072-ONNCCE-2006	ASTM C123-14



3.1.2.1. Muestreo de agregados pétreos.

OBJETIVO. Obtener y traer una muestra representativa del material que se va emplear en la elaboración de las mezclas de concreto para poder realizar los estudios o pruebas correspondientes de dicho material en el laboratorio.

EQUIPO.

- Medio de transporte.
- Costales.
- Palas.
- Espátulas.
- Bolsas de plástico.

PROCEDIMIENTO.

1. Para poder realizar los muestreos del material dependiendo en qué etapa se encuentren los proyectos los podemos realizar en:
 - Directamente en los bancos de material.
 - En los camiones que estén suministrando en material a la obra.
 - En el material que se tenga en la obra misma.
2. El muestreo consiste en obtener una porción del material que vamos a emplear en la elaboración de las mezclas aproximadamente 50 Kilogramos.
3. Cuando el muestreo se realice en los bancos de material puede ser para realizar los estudios para ver si el material reúne las características adecuadas y las especificaciones.
4. Cuando el muestreo se realiza en los camiones o en la obra puede ser para verificar la calidad de esos materiales.
5. En conclusión, el muestreo tiene como finalidad primordial obtener una muestra representativa que reúna la totalidad de las características y el tamaño adecuado para realizar los estudios que le competen al laboratorio.

ESPECIFICACIONES.



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



Tabla 13. Masa mínima de la muestra para su estudio en laboratorio (NMX-C-030-ONNCCE, 2004).

MATERIAL	TAMAÑO MAXIMO NOMINAL (mm)	PASA LA MALLA (MALLA No.)	MASA MINIMA DE LA MUESTRA DE CAMPO (kg)
Arena	Menor de 5	4.75 mm (No. 4)	100
Grava	Menor de 75	75 mm (3")	150
Grava	Mayor de 75	–	200
Grava	Cualquiera	–	300

*En agregados ligeros (aquellos cuya masa específica sea inferior de 2.0) estas masas deben multiplicarse por 0.65).

REFERENCIA.

(NMX-C-030-ONNCCE, 2004).

(ASTM D75, 2014).

3.1.2.2. Práctica estándar para reducir muestras de agregados a tamaños de prueba (Cuarteo).

OBJETIVO. Obtener una muestra representativa y del tamaño adecuado, para la prueba de que se trate, de la muestra obtenida en el campo.

EQUIPO.

- Charolas grandes de lámina.
- Palas de boca recta.
- Cucharones.
- Brochas o cepillos de pelo.
- Balanza o báscula.
- Divisor de muestras.

PROCEDIMIENTO.

Existen tres procedimientos usuales para efectuar el cuarteo de las muestras, en este caso se utilizaron solo dos.



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



Procedimiento por cuarteo con palas (Método B):

1. Se vacía la muestra de material en uno de los extremos de la charola grande o superficie plana y limpia para su secado (Ilustración 19).
2. Se cambia el material al extremo opuesto, este cambio deberá hacerse por medio del paleado, tratando de revolver todo el material, además se procura apilar el material en forma cónica. Este procedimiento se repite tres veces.
3. Una vez terminado el paso anterior el material apilado en forma cónica se aplanar la parte superior por medio de la cara posterior de la pala y después se divide el material trazando dos líneas perpendiculares sobre la superficie horizontal aplanada del material (Ilustración 20).
4. eliminando las dos porciones opuestas, el material sobrante nos servirá para realizar las pruebas correspondientes. Si se desea disminuir el tamaño de la muestra se repite el procedimiento anterior señalado.



Ilustración 19. Extensión de arena para su secado.



Ilustración 20. Material dividido en 4 partes iguales (Cuarteo).

Procedimiento para divisor de muestras (Método A):

1. Se toma la muestra previamente puesta en una charola ancha y se vacía sobre la parte superior del divisor, procurando repartirla en toda la longitud del divisor (Ilustración 21).
2. El material recibido en uno de los recipientes se elimina o se reintegra a la bolsa de donde se extrajo. Si se desea una muestra más pequeña, entonces el material que ha quedado en uno de los recipientes se vierte en una charola, para posteriormente vaciar la charola sobre el divisor, este proceso de división y eliminación hasta lograr la muestra del tamaño que se requiera (Ilustración 22).



Ilustración 21. Vaciado de la muestra en el divisor de muestras (Cuarteador de Johnson).



Ilustración 22. Muestra final para hacer pruebas.

RECOMENDACIONES.

Selección del método Agregado fino:

Las muestras de campo de agregado fino que se encuentran superficialmente secas se deben reducir en tamaño por el método A. Las muestras de campo que se reduzcan por el método B deben encontrarse húmedas superficialmente de no ser así se deben humedecer y después deben ser remezcladas. Si la muestra de campo es muy grande y está húmeda superficialmente, puede efectuarse un cuarteo preliminar con un cuarteador mecánico que tenga abertura de conductos de 40 mm o mayor y se reduce la muestra a no menos de 5 kg. La porción así obtenida se cuarteo por el método B, o se seca y se emplea el método A, utilizando temperaturas que no excedan a cualquiera de las pruebas que se pretenden efectuar.

REFERENCIA.

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

(ASTM C702, 2018).

3.1.2.3. Método de prueba estándar para la masa unitaria seca y suelta en agregados (MVSS).

OBJETIVO. Determinar la masa por unidad de volumen de una arena, cuando el acomodo de sus partículas es en forma libre o natural.



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



EQUIPO.

- Una muestra de arena completamente seca.
- Un recipiente de peso y volumen conocido.
- Una varilla lisa punta de bala de 5/8 de diámetro.
- Una a balanza o una báscula.
- Un cucharon y una pala.

PROCEDIMIENTO.

1. Se vacía arena dentro del recipiente dejándose caer a una altura medida a partir de la arista superior del recipiente de aproximadamente 5 centímetros, llenando completamente el recipiente hasta colmarlo formando un cono (Ilustración 23).
2. Enseguida se enrasa el recipiente con la varilla y se limpia el recipiente de las partículas adheridas en las paredes exteriores procediendo a pesarlo (Ilustración 24).
3. La masa obtenida anteriormente se le resta la masa del recipiente para obtener la masa de la arena.



Ilustración 23. Llenado del recipiente y posteriormente enrasar.



Ilustración 24. Masa del recipiente con arena.

CÁLCULOS.

Con la fórmula (2) se calcula la Masa Volumétrica Seca y Suelta (MVSS).

$$MVSS = \frac{M}{V} \quad (2)$$



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



MVSS= Masa Volumétrica Seca y Suelta (gr/cm^3).

M= Masa de la arena (gr).

V= Volumen del recipiente (cm^3).

ESPECIFICACIONES

Agregados de Peso Normal.

Son los agregados más comunes usados como la arena, grava, piedra triturada y escoria de hornos enfriada al ambiente y producen un concreto de peso normal.

Con gravedad específica entre 2 y 3 y se diferencian por su tamaño.

Tabla 14. Rangos aproximados de pesos unitarios de los agregados según el tipo de concreto (CMIC, 2016).

TIPO DE CONCRETO	RANGO APROXIMADO (KG/CM^3)
Pesado	Mayor a 1700
Peso Normal	1200-1700
Ligero Estructural	500-1100
Ligero Aislante	100-1100

REFERENCIA.

(NMX-C-073-ONNCE, 2014).

(ASTM C29/C29M, 2017).

3.1.2.4. Método de prueba estándar para la masa unitaria seca y varillada o compactada en agregados (MVSU).

OBJETIVO. Obtener la masa por unidad de volumen de una arena, cuando el material tiene una determinada compactación.

EQUIPO.

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



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



PROCEDIMIENTO.

1. Se procede a llenar el recipiente con arena dejándola caer a una altura aproximadamente de 5 centímetros (Ilustración 25).
2. El llenado del recipiente debe hacerse a 3 capas dando a cada capa de arena 25 golpes con la varilla punta de bala distribuyéndolos en toda la superficie del material. Debe cuidarse que la varilla no penetre en la capa anterior al dar los golpes.
3. Se enrasa el recipiente con la varilla punta de bala y se limpia todas las partículas que hayan quedado adheridas a las paredes exteriores.
4. Después de haber realizado los pasos anteriores se pesa el recipiente con el material y se le resta la masa del recipiente para así obtener la masa neta del material (Ilustración 26).



Ilustración 25. Llenado del recipiente en capas.



Ilustración 26. Masa del recipiente con arena.

CÁLCULOS.

Con la fórmula (3) se calcula la Masa Volumétrica Seca y Varillada (MVSV).

$$MVSV = \frac{M}{V} \quad (3)$$

Dónde:

MVSV= Masa Volumétrica Seca y Varillada (gr/cm³).

M= Masa de la arena (gramos).

V= Volumen del recipiente (cm³).



REFERENCIA.

(NMX-C-073-ONNCCE, 2014).

(ASTM C29/C29M, 2017).

3.1.2.5. Método de prueba estándar para el análisis granulométrico de agregados finos y gruesos.

OBJETIVO. Pasar por una serie de mallas o tamices la muestra representativa de arena, para conocer la distribución de los diámetros de las partículas y el módulo de finura. Para cual se deberá efectuar el registro correspondiente y el cálculo para comparar los resultados de decidir si es o no es aceptable la arena.

EQUIPO.

- Un juego de mallas con la abertura rectangular o circular del N° 4, 8, 16, 30, 50, 100 y charola con su respectiva tapa.
- Una balanza con capacidad de 2160 gramos y aproximación al décimo de gramo.
- Charolas, espátulas, y parrillas eléctricas.
- Cepillos de cerdas y alambre.
- Hojas de papel.

PROCEDIMIENTO.

1. Se toma una muestra representativa de arena de aproximadamente 600 gramos.
2. Se seca la muestra hasta peso constante, a una temperatura de no mayor de 110°C.
3. Cuando el material este seco y frio, se toman 500 gramos, pesados al décimo gramo.
4. Se colocan las mallas en orden decreciente (4, 8, 16, 30, 50, 100, y charola), se coloca la muestra y se tapa (Ilustración 27).
5. Se agita el juego de mallas durante un tiempo de 10 minutos como mínimo, el agitado puede ser a mano o mecánicamente (Raf-tap).
6. En una superficie horizontal y limpia se colocan siete hojas de papel y sobre ellas se coloca el material retenido en cada una de las mallas, para lo cual se invertirá la malla con todo cuidado limpiando con cepillo de alambre las mallas 4, 8, 16, 30 para desalojar el material que se encuentra entre los espacios de la malla, las mallas 50 y 100 se limpiaran con cepillo de cerdas (Ilustración 28).



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



- Se procede a pesar cada uno de los materiales retenidos en las mallas hasta el décimo de gramo anotando los pesos en el registro correspondiente.



Ilustración 27. Vaciado de la muestra en el Raf-tap.



Ilustración 28. Material retenido en cada malla.

CÁLCULOS.

- Se anotan los pesos retenidos en las respectivas mallas.
- $\% \text{ Retenido malla} = \left(\frac{\text{Peso retenido}}{\text{Sumatoria de peso retenido}} \right) * (100)$
- $\% \text{ Acumulativo malla} = \% \text{ Retenido malla} + \% \text{ acumulativo malla anterior}$
- $\% \text{ que pasa la malla} = 100 - \% \text{ Acumulativo malla}$
- $\text{Módulo de Finura (M. F.)} = \frac{(\text{Suma del porcentaje acumulativo de la malla N}^\circ 8 \text{ a la N}^\circ 100)}{100}$

Tabla 15. Tabla para el registro de datos obtenidos en el análisis granulométrico.

MALLA	PESO RETENIDO (1)	% RETENIDO (2)	% ACUMULATIVO (3)	% QUE PASA (4)
4				
8				
16				
30				
50				
100				
200				
CHAROLA				
SUMA				



RECOMENDACIONES Y ESPECIFICACIONES.

Composición granulométrica y tamaño máximo (sitecal).

En la composición granulométrica se definen elementos relevantes para un buen desempeño en las mezclas del concreto en estado fresco y endurecido. Los materiales se segmentan en gruesos que se definen en el mayor tamaño contenido en la curva y la malla 4.75 mm y finos que incluyen tamaños comprendidos entre 4.75 y 0.75 mm. Los tamaños después de esta referencia se consideran indeseables para su uso en concreto. Para ambas fracciones es necesario que existan todos los tamaños posibles logrando así una adecuada distribución granulométrica, este concepto se conoce como continuidad o discontinuidad. El establecimiento de una curva granulométrica se realiza por criterios económicos, por la geometría de los elementos, por las características del acero de refuerzo entre otros.

Importancia del tamaño de los agregados (Hermilio González, 2013):

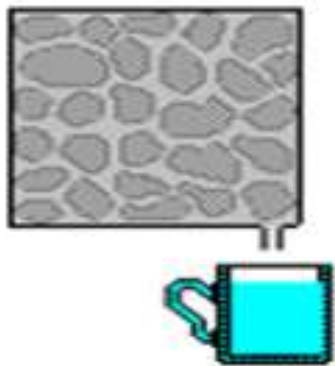


Ilustración 29. Partículas del mismo tamaño producen gran cantidad de vacíos que tienen que ser rellenados con pasta de cemento.

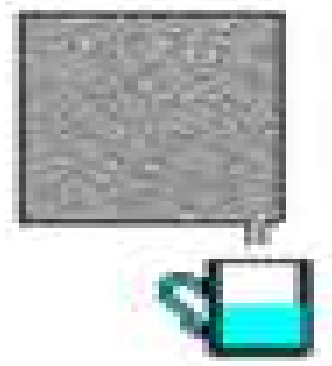


Ilustración 30. Partículas de diferentes tamaños ayudan a llenar los vacíos entre ellas, reduciendo así la cantidad de pasta de cemento.

Características que debe cumplir el agregado fino (NMX-C-077-ONNCCE, 1997):

1. Debe cumplir con los límites granulométricos establecidos en la Tabla 16 y el módulo de finura debe estar comprendido entre 2.3 y 3.1.
2. El retenido parcial de la masa total en cualquier criba no debe ser mayor del 45 %. Pueden aumentarse los porcentajes del retenido acumulado de la masa ensayada en las cribas 0.300 mm (No. 50) y 0.150 mm (No. 100) a 95 % y 100 % respectivamente, siempre y cuando el contenido de cemento del concreto en que se vaya a utilizar el agregado sea mayor de 250 kg/m³ para concreto con aire incluido o mayor de 300 kg/m³ para concreto sin aire incluido, o bien añadiendo una adición que supla la deficiencia de material que pase por esas cribas.



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



3. Si los agregados no cumplen con los puntos anteriores, pueden usarse siempre y cuando haya antecedentes de comportamiento aceptable o los resultados de las pruebas realizadas en el concreto elaborado con ellos sean satisfactorias o haciendo un ajuste apropiado en el proporcionamiento del concreto, para compensar las deficiencias de la granulometría.

Tabla 16. Especificaciones de granulometría (ASTM C136, 2014).

Malla	% que pasa
3/8	100
4	95-100
8	80-100
16	50-85
30	25-60
50	10-30
100	2-10

- El porcentaje referido de dos mallas sucesivas no debe de ser mayor a 45%.

Tabla 17. Clasificación de arena según el módulo de finura.

Módulo de Finura	Clasificación
Menor de 2	Muy fina
2.0-2.3	Fina
2.3-2.6	Medio fina
2.6-2.9	Media
2.9-3.2	Medio gruesa
3.2-3.5	Gruesa
Mayor de 3.5	Muy gruesa

Grafica de la composición granulométrica para concreto y mortero (Ilustración 31).

Cada línea de color es para concreto o mortero, si al introducir los datos del % que pasa del material analizado (agregado) no está dentro de las líneas de límite inferior y límite superior de mortero o concreto se llega a conclusión que el material no es de calidad o que no puede ser utilizado como agregado, con exención si se realiza un tratamiento para mejorarlo y que no sea costoso y así pueda cumplir los límites.

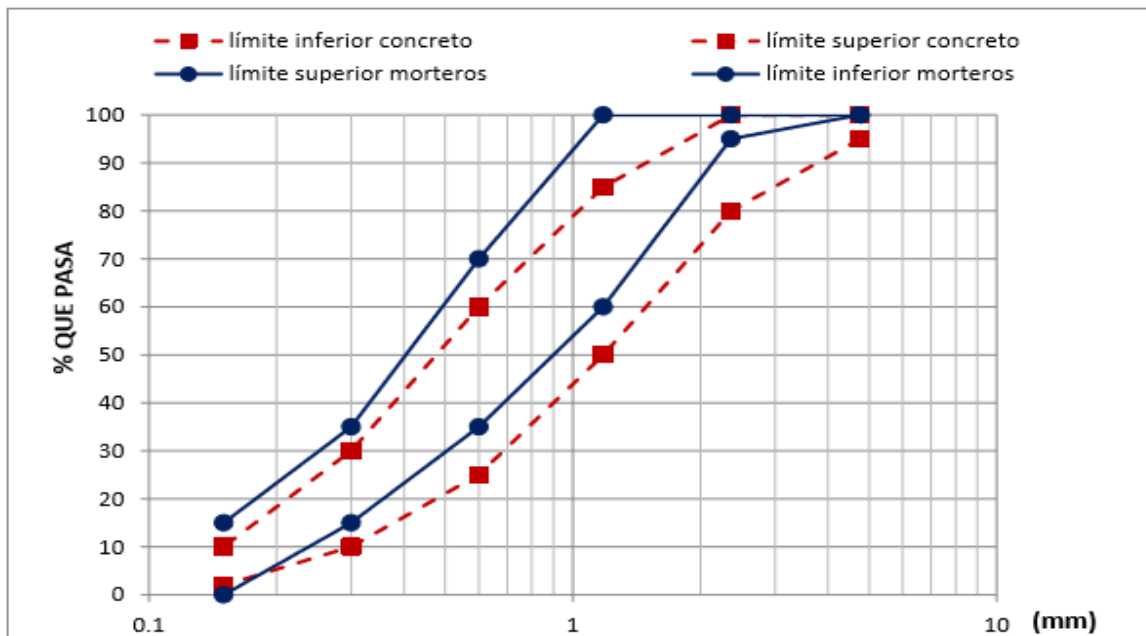


Ilustración 31. Límites de granulometría para concreto y mortero (NMX-C-077-ONNCE, 1997)

REFERENCIA.

(NMX-C-077-ONNCE, 1997).
(ASTM C136, 2014).

3.1.2.6. Método de prueba estándar para la densidad relativa y la absorción del agregado pétreo fino.

OBJETIVO. Determinar la capacidad máxima de absorción que tiene una arena expresada en porcentaje.

EQUIPO.

- Una muestra representativa de aproximadamente 2 kilogramos.
- Una balanza con aproximación al décimo de gramo.
- Una parrilla eléctrica.
- Charolas metálicas.
- Un cono metálico (truncocónico).
- Un pizón.
- Una espátula.



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



PROCEDIMIENTO.

1. La muestra de 2 kg se pone a saturar durante 24 hr como mínimo (Ilustración 32).
2. Al término de este tiempo se seca superficialmente, la arena por medio del molde troncocónico como se describe a continuación:
 - Se coloca la arena en la charola y se coloca en la parrilla eléctrica para realizar la eliminación de agua que tiene en exceso, esto es, hacer el secado de la arena en forma superficial (Ilustración 33).
 - Para saber cuándo la arena esta seca superficialmente se coloca el molde troncocónico dentro de la charola con el diámetro mayor hacia abajo, se llena el molde con la arena en tres capas distribuyendo 25 golpes dados con el pizón, dando 12 a la primera, 8 a la segunda y 5 a la tercera. Inmediatamente se retira el cono y si la arena trata de disgregarse quiere decir, que ya está superficialmente seca y si la arena mantiene la forma del cono significa que todavía tiene agua en exceso por lo tanto hay que seguir secando el material hasta que se obtenga el secado superficialmente seco (Ilustración 34). Conforme vaya perdiendo la humedad la muestra hay que realizar más continuamente el procedimiento con el cono para evitar que se seque en exceso.
3. Cuando la arena esta seca superficialmente hay que pesar una muestra de 300 gramos, registrando este peso como masa saturada y superficialmente seca (Mh) (Ilustración 35).
4. La muestra de 300 gramos, se coloca en una charola para secarla hasta peso constante, o sea, hasta eliminar completamente el agua (Ilustración 36).
5. Para saber cuándo el material este seco se coloca el cristal sobre el material, si no la empaña retiramos el material y lo dejamos enfriar un poco, Procediendo a pesarlo y registrar el peso como masa seca del material (Ms), si todavía se empaña el cristal hay que seguir secando el material para secarlo completamente.



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



Ilustración 32. Muestra Saturada.



Ilustración 33. Secado para la eliminación de agua en exceso.



Ilustración 34. Masa saturada superficialmente seca.



Ilustración 35. Peso de masa saturada superficialmente seca.



Ilustración 36. Masa completamente seca.

CÁLCULOS.

Con la fórmula (4) se calcula el % Humedad de Absorción.

$$\% \text{ HUMEDAD DE ABSORCIÓN} = \left(\frac{M_h - M_s}{M_s} \right) * 100 \quad (4)$$

Dónde:

M_h= Masa saturada y superficialmente seca (gramos).

M_s= Masa seca del material (gramos).



CONCEPTOS.

Absorción.

Es el incremento en la masa de un agregado seco, cuando es sumergido en agua durante 24 hr a temperatura ambiente, el aumento de masa es debido al agua que se introduce en los poros y no incluye el agua adherida a la superficie de las partículas.

La absorción es la propiedad del agregado que más influye en la consistencia del mortero, puesto que las partículas absorben agua directamente en la mezcladora, disminuyendo la manejabilidad de la mezcla. Si dos tipos de agregados tienen adsorción similar, otros factores secundarios serán de importancia en la consistencia de la mezcla como su forma, tamaño y graduación; ya que mientras mayor superficie del agregado sea necesario cubrir con pasta, se tendrá menos fluidez

Masa específica saturada y superficialmente seca (M_h).

Es la relación de masa a volumen, considerando la masa de las partículas saturadas de agua y superficialmente secas (M_h) y el volumen sólido de las partículas que incluye los volúmenes de los poros que se encuentran dentro de las mismas.

REFERENCIA.

(NMX-C-165-ONNCCE, 2014).

(ASTM C128, 2015).

3.1.2.7. Método de prueba estándar para la densidad relativa y absorción del agregado fino.

OBJETIVO. Esta prueba tiene como finalidad obtener el volumen obstáculo de las partículas de arena, es decir, el volumen efectivo excluyendo los vacíos que se forman entre las partículas de arena cuando se acomodan una sobre la otra.

EQUIPO.

- Muestra representativa de arena de aproximadamente 1000 gramos.
- Charolas.
- Espátulas.
- Parrilla eléctrica.
- Molde troncocónico.
- Pizón.
- Probeta.
- Frasco.



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



- Vidrio.
- Una balanza con aproximación al décimo de gramo.

PROCEDIMIENTO.

1. Se pone a saturar la arena en una charola durante 24 horas.
2. Se seca superficialmente la muestra utilizando el procedimiento descrito en la prueba de humedad de absorción con el molde troncocónico (Ilustración 37).
3. En la probeta Chapman se coloca un volumen de agua conocido (200ml), posteriormente se pesa registrándolo como peso de la probeta (F) (Ilustración 38).
4. Enseguida se pesa una muestra de arena superficialmente seca anotando este valor como (As) que aproximadamente sea entre 200 y 300 gramos (Ilustración 39).
5. Posteriormente se coloca la arena dentro de la probeta, procurando que no salpique agua porque esto ocasionaría un error en la prueba, agitando un poco la probeta para expulsar el aire atrapado, esta operación va a provocar un aumento en el volumen de agua y se agrega agua al nivel máximo de la probeta (450ml) que se registra como Vf (Ilustración 40).
6. Finalmente se pesa y se registra este valor como (K) (Ilustración 41).



Ilustración 37. Muestra superficialmente seca.



Ilustración 38. Peso de la probeta con un vol. inicial (F).



Ilustración 39. Peso de la muestra superficialmente seca (As).



Ilustración 40. Agregando un volumen final (Vf).



Ilustración 41. Peso total (K).

CÁLCULOS

Con la fórmula (5) se calcula la Densidad de la Arena.

$$D = \frac{As}{Vf - (K - F - As)} \quad (5)$$

Dónde:

D= Densidad de la Arena (gr/cm³).

As= Arena superficialmente seca (gr).

Vf= Volumen final (cm³).

K= Peso de la probeta + agua + Arena superficialmente seca (gr).

F= Peso de la Probeta.

REFERENCIA.

(NMX-C-165-ONNCCE, 2014).

(ASTM C128, 2015).

3.1.2.8. Determinación de impurezas orgánicas en el agregado fino.

OBJETIVO. Determinar el contenido de materia orgánica en una arena, en forma comparativa, utilizando una solución de color normal.



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



EQUIPO.

- Dos botellas iguales de vidrio incoloro de 250 a 350 cm³ con marcas a cada 25 cm³ (frasco de biberón).
- Charolas.
- Espátulas.
- Parrilla eléctrica.
- Una balanza con aproximación al décimo de gramo.
- Material para las soluciones y vidrio de color normal.
- Solución de sosa cáustica 30 gramos por litro de solución de normal en agua destilada.

PROCEDIMIENTO.

1. Se toma una muestra representativa de arena de 500 gramos aproximadamente.
2. Se seca hasta peso constante a una temperatura no mayor a 110 °C.
3. Se coloca la arena seca y fría en una botella (frasco de biberón) hasta 133 cm³. (Ilustración 42).
4. Adicionándole solución de sosa cáustica hasta los 206 cm³ (Ilustración 43).
5. Se tapa la botella y se agita fuertemente dos minutos como mínimo posteriormente se dejará reposar 24 horas (Ilustración 44).

Al cabo de este tiempo se comparará el color del líquido de la botella con el vidrio de color normal (Ilustración 45).



Ilustración 42. Se vacía arena al frasco de biberón.



Ilustración 43. Adición de sosa cáustica.



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



Ilustración 44. Agitación del biberón.



Ilustración 45. Comparación con el vidrio de color normal.

RECOMENDACIONES Y ESPECIFICACIONES.

Si el color obtenido es más oscuro que el color normal (normalizado #3), podemos sospechar de un exceso de materia orgánica en la arena.

Para comprobarlo debemos hacer otra prueba de colorimetría con la misma arena, pero lavada ya que ocasionalmente se presentan materiales de origen inorgánico que reaccionan con la solución de sosa cáustica dando un color oscuro sin existir materia orgánica.

El nivel máximo permisible en la comparación con el vidrio de color normal es el número 3 (Ilustración 46).



Ilustración 46. Colorímetro (ASTM C40, 2019).



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



Tabla 18. Características del agregado y efectos en el concreto (Hermilio González, 2013).

CARACTERISTICAS	EFFECTOS EN EL CONCRETO
Impurezas orgánicas.	Afecta el tiempo de fraguado y el endurecimiento.
Material más fino que 0.075mm (malla 200).	Afecta a la adherencia, aumenta la demanda de agua.
Carbón, Lignito u otro material ligero.	Afecta la durabilidad, puede causar manchas y erupciones.
Terrones de Arcilla y partículas deleznable.	Afecta la trabajabilidad y durabilidad, puede causar erupciones.
Granulometría, MF y TMA.	Afecta la trabajabilidad y economía.

REFERENCIA

(NMX-C-088-ONNCCE, 1997).
(ASTM C40, 2019).

3.1.2.9. Determinación de partículas ligeras.

OBJETIVO. Determinar si el contenido de material fino que contiene una arena es aceptable para definir si se acepta o no para la elaboración de concreto.

EQUIPO.

- Un frasco graduado con tres marcas, la primera a los 414 ml, la segunda a los 444 ml y la tercera a los 828 ml.
- Una muestra de arena seca de 2 kilogramos aproximadamente.
- Un litro de agua de preferencia destilada.

PROCEDIMIENTO.

1. Se coloca arena seca dentro del frasco hasta la marca de 414 ml, enseguida se coloca agua hasta la marca de 828 ml (Ilustración 47).
2. Se tapa el frasco que contiene el material con el agua con la palma de la mano y se procede a agitarlo hasta que todo el material fino quede en suspensión en el agua durante dos minutos (Ilustración 48).



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



3. Se deja reposar el frasco durante 24 horas para determinar el nivel del material fino, esto es que durante el tiempo de reposo el material se va sedimentar y hay que observar si el material fino rebasa o no el nivel de 414 ml (Ilustración 49).



Ilustración 47.
Colocación de agua y arena.



Ilustración 48. Agitado del frasco.



Ilustración 49.
Sedimentación de la arena.

REPORTE.

Si el material fino rebasa la marca 444 ml se reporta el material con exceso de finos.
Si el material fino no rebasa la marca de 444 ml, se reportará que el contenido de material fino es aceptable.

REFERENCIA.

(NMX-C-072-ONNCCE, 2006).
(ASTM C123, 2014).

3.1.2.10. Método de prueba estándar para terrones de arcilla en agregados.

OBJETIVO. Determinar conocer la cantidad de terrones de arcilla que contiene una arena, ya que son partículas de baja resistencia estructural, que además en contacto con el agua forman lodos que contaminan el concreto, cuando se encuentran en abundancia formando parte de la arena.

EQUIPO.

- Mallas N° 16 y N° 30.
- Parrilla eléctrica.



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



- Charolas.
- Balanzas.
- Espátulas.

PROCEDIMIENTO.

1. Se toma una muestra representativa de arena de aproximadamente un kilogramo, se seca una temperatura no mayor de 110° C teniendo cuidado de no romper los terrones de arcilla.
2. Se deja enfriar la muestra y se pasa por la malla N° 16, del retenido se toma una muestra de 100 gramos y se anota como (Pi) pesados al décimo de gramo (Ilustración 50).
3. Se colocan los 100 gramos de arena en una charola y se le adiciona agua hasta cubrir la muestra, se deja durante 24 horas (Ilustración 51).
4. Posteriormente se escurre el agua libre y se extiende la arena en el fondo de una charola para romper, con los dedos, los terrones de arcilla que aun existan (Ilustración 52).
5. A continuación, se hace pasar el material por la malla N° 30, lavándola con mucha agua, el retenido en esta malla se recoge en una charola (Ilustración 53).
6. Se seca totalmente el material, se deja enfriar (Ilustración 54).
7. Y se pesa nuevamente al décimo de gramo anotándose como (Pf).



Ilustración 50. Material retenido en la malla #16.



Ilustración 51. Material a saturar.



Ilustración 52. Eliminación de terrones de arcillas existentes.



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



Ilustración 53. Material lavado y retenido en la malla #30.



Ilustración 54. Secado total del material.

CÁLCULOS.

Con la fórmula (6) se calcula el % de Terrones de Arcilla de Arenas.

$$\% \text{ Terrones} = \left(\frac{M_i - M_f}{M_i} \right) * 100 \quad (6)$$

Dónde:

% Terrones= Porcentaje de Terrones de Arcilla de Arena.

M_i= Masa inicial (gr).

M_f= Masa seca sin terrones (gr).

RECOMENDACIONES Y ESPECIFICACIONES.

Las especificaciones de la (ASTM C142, 2017) dan un porcentaje admisible de terrones de arcilla en la arena del 0.5 % un máximo permisible del 1 %. En caso de que la arena esté contaminada es más del 1 % se hará un estudio económico tendiente a ver si es factible cambiar el material o proceder a lavar la arena contaminada para eliminar la arcilla.

Tabla 19. Límites máximos de partículas delezables y carbón o lignito en agregados finos (NMX-C-111-ONNCCE, 2018)

CONCEPTO	MATERIAL MÁXIMO PERMISIBLE EN LA MASA TOTAL DE LA MUESTRA (%)
Grupos de arcilla y partículas delezables.	3.0
Carbón y lignito:	
En concreto aparente.	0.5
En otros concretos.	1.0



REFERENCIA.

(NMX-C-071-ONNCCE, 2004).
(ASTM C142, 2017).

3.1.2.11. Método de prueba estándar para materiales finos que pasan la malla No. 200 en agregados por lavado.

OBJETIVO. Determinar la cantidad de materia fina que contiene una arena, cribándola por la malla #200.

EQUIPO.

- Malla #200.
- Malla #16.
- Charola de dimensiones adecuadas para contener el material con agua.
- Una balanza con aproximación al décimo de gramo.
- Espátula y parrilla eléctrica o de gas.

PROCEDIMIENTO.

1. Se toma una muestra representativa de 600 gramos, se seca hasta peso constante a una temperatura no mayor de 110°C.
2. La muestra seca se coloca en el recipiente y se pesan, previamente se pesará el recipiente vacío (Ilustración 55).
3. Al material en el recipiente se le agrega agua hasta cubrir la muestra (Ilustración 56).
4. Agítase energéticamente la muestra con agua y viértase inmediatamente sobre el juego de mallas (la #16 arriba y la #200 abajo).
5. Una vez puesto el material en el juego de mallas e le sigue agregando agua y agitando hasta que el agua salga completamente clara (Ilustración 57).
6. Se regresa el material retenido en las mallas por medio del lavado.
7. Se seca el material hasta peso constante, se deja enfriar (Ilustración 58).
8. Y se pesa (Ilustración 59).



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



Ilustración 55. Peso de la muestra seca.



Ilustración 56. Muestra cubierta con agua.



Ilustración 57. Muestra completamente lavada.



Ilustración 58. Secado de la muestra.

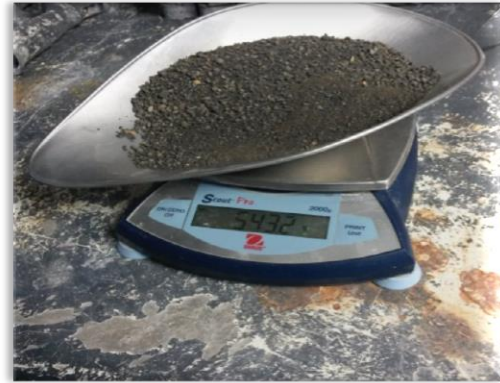


Ilustración 59. Peso final de la muestra.

CÁLCULOS.

Con la fórmula (7) se calcula el Porcentaje de Material que pasa la Malla #200.

$$A = \left(\frac{M_i - M_f}{P_i} \right) * 100 \quad (7)$$

Dónde:

A = Porcentaje de Material que pasa la Malla #200.

M_i = Masa seca inicial (gr).

M_f = Masa seca después de lavar (gr).



ESPECIFICACIONES Y RECOMENDACIONES.

Cuando la arena se va emplear en la elaboración de concreto hidráulico y esta contiene exceso de partículas finas que pasan la malla #200, la cantidad de cemento necesario aumenta considerablemente, existiendo la posibilidad de que aparezcan grietas en las estructuras de concreto.

Cuando la arena cae fuera de las especificaciones, si económicamente es posible se recomienda lavarla o adoptar una solución que permita quitarle el material fino o desecharla totalmente.

Tabla 20. Materiales que pasa por la criba 0.075 mm “malla # 200” (NMX-C-111-ONNCCE, 2018).

CONCEPTO	MATERIAL MÁXIMO PERMISIBLE EN MASA DE LA MUESTRA TOTAL (%)	
	NMX-111-ONNCCE-2014	ASTM-C-33-03
En concreto sujeto a abrasión.	5.00 ⁽¹⁾	3.00 ^(A)
En concretos presforzados.	8.00 ⁽¹⁾	-
En otros concretos.	15.00	5.00 ^(A)

⁽¹⁾ En caso de agregados triturados si el material que pasa por la criba 0.075mm (malla #200) es el resultado de la pulverización de rocas exentas de arcilla y/o pizarras, este límite puede incrementarse a 6% y 10%, respectivamente.
^(A) En caso de agregados triturados, si el material que pasa por la criba 0.075 mm (malla #200) es el resultado de la pulverización de rocas exentas de arcilla y/o pizarras, este límite puede incrementarse a 5% y 7% respectivamente.

REFERENCIA.

(NMX-C-084-ONNCCE, 2018).

(ASTM C117, 2017).

3.1.3. Agua.

El agua utilizada en la investigación no fue sometida a ninguna prueba o análisis, se usó tal como se conduce en las tuberías del Laboratorio de Materiales “Ing. Luis Silva Ruelas” de la Facultad de Ingeniería Civil de la UMSNH (Ilustración 60), con el fin de hacer la experimentación lo más apegado a la realidad constructiva.



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



Ilustración 60. Agua utilizada en la investigación.

3.2. PRUEBAS REALIZADAS AL MORTERO FRESCO.

3.2.1. Prueba de fluidez.

OBJETIVO: Determinar el contenido de agua necesaria para que el mortero sea manejable, plástico y dúctil.

EQUIPO.

- Mesa de fluidez puede ser eléctrica o manual.
- Aceite SAE-10 o cualquier otro lubricante con la misma densidad.
- Moldes.
- Calibrador.
- Un pizón.

PROCEDIMIENTO.

1. Lubricación de la mesa. El eje vertical se mantiene limpio y se lubrica con aceite SAE-10. No debe haber aceite entre las caras de apoyo de la saliente del eje y el soporte. El aceite sobre la cara de la leva disminuye el desgaste y facilita la uniformidad del funcionamiento, se recomienda levantar la mesa y dejarla caer doce veces.
2. El molde para colar el espécimen para el ensaye es de bronce o latón con diámetro de la boca superior de 70 mm, las superficies definidas por la base y el borde superior serán perpendiculares entre si y al eje del cono vertical.
3. El calibrador se usa para medir el diámetro del mortero después de que haya extendido, tiene una exactitud tal que la distancia entre las quijadas debe ser de 102 mm cuando el indicador se encuentre en cero.



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



4. Se debe de humedecer la parte superior de la mesa, se limpia del material arenoso, y se elimina el exceso de agua con una franela húmeda, todo para poder realizar el ensaye.
5. Se centra el molde en la mesa, después se ajusta y se llena, en dos capas que en total den el volumen del molde, se compacta cada una de las capas con 20 golpes, las cuales se distribuyen en la sección transversal, teniendo cuidado de no penetrar la capa subyacente (Ilustración 62), al finalizar se enrasa con una llana el exceso de mortero se retira, limpiando el área de la mesa que se encuentra al molde, el molde se remueve con un tirón firme hacia arriba.
6. La mesa se eleva y se deja caer 1.3 cm, 25 veces durante 15 segundos, haciendo girar la leva a una velocidad uniforme, el diámetro del mortero extendido es el promedio de seis medidas distribuidas simétricamente, leídas y redondeadas al 0.5 cm (Ilustración 63).



Ilustración 61. Mezcla para la determinación de la fluidez.



Ilustración 62. Compactación con el pizón en cada capa.



Ilustración 63. Medida del mortero extendido.

CÁLCULOS.

Se registra como el porcentaje en que se incrementa el diámetro del mortero extendido con respecto al diámetro original de la base del mortero moldeado, usando la como fórmula (8).

$$\text{Fluidez (\%)} = \left(\frac{\text{Diámetro extendido} - 25}{25} \right) * (100) \quad (8)$$

La proporción cemento:arena es 1:2.75 respectivamente, con respecto al peso.



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



TEMPERATURA.

La temperatura del aire en la vecindad de la losa de mezclado, los materiales secos, moldes, placas de base y tazón de mezclado, deben ser mantenidos entre 23.0 ± 3.0 °C (73.5 ± 5.5 °F). La temperatura del agua de mezclado, el gabinete húmedo o el cuarto húmedo y el agua en el tanque de almacenamiento debe ser ajustada a 23 ± 2 °C (73.5 ± 3.5 °F).

OBSERVACIONES.

La prueba puede variar de acuerdo al laboratorista que la realice y a la temperatura que exista al momento de la prueba, el tiempo de duración de la prueba, incluso los resultados pueden ser variados de un día para otro por diversas circunstancias (temperatura, agua etc.).

REFERENCIA.

(NMX-C-061-ONNCCE, 2015).
(ASTM C230/C230M, 2014) Y (AASHTO M152, 2016).

3.2.2. Elaboración de especímenes.

Según la norma (NMX-C-159-ONNCCE, 2016), los moldes para la elaboración de los especímenes deben cumplir ciertas características, entre ellas están que los moldes deben ser de acero, hierro fundido o de cualquier otro material que no sea absorbente y que no sea reactivo con el cemento Portland, dichos moldes deben tener las dimensiones que la misma norma nos cita y deben mantenerlas bajo condiciones severas de trabajo, deben ser no permeables durante su empleo, los lados de los moldes deben ser suficientemente rígidos para evitar ensanchamiento o alabeo, las caras interiores de los moldes deben ser superficies planas y si es necesario se les puede agregar algún material de sello por la parte interna, tales como grasa, plastilina o parafina. Deben tener los elementos necesarios para la fijación correcta a la base. Si el molde es de uso repetitivo, se le puede agregar algún desmoldante o lubricante que facilite la extracción del espécimen del molde.



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



Ilustración 64. Moldes para la elaboración de los especímenes.

REFERENCIA.

(NMX-C-159-ONNCCE, 2016).

(ASTM C192/C192M, 2018).

3.2.2.1. Elaboración de cubos.

La elaboración de los cubos de mortero para testigo, sustitución y adición, se utilizaron moldes de acero inoxidable y bronce que cumplen con las dimensiones especificadas por la norma correspondiente para la fabricación de cubos de 5cm x 5cm x 5cm.

En la fabricación de los cubos de mortero, se recubrieron los moldes con un lubricante, esto con la finalidad de que al día siguiente cuando se descimbraran, el mortero no se adhiriera a las paredes del molde y fuera sencillo el retirarlos del mismo sin que se desmoronaran o se fracturaran, para tal fin se utilizó aceite para transmisión mezclado con diésel en una parte más pequeña que el aceite para la mezcla no fuera tan líquida, pero tampoco muy viscosa. Después de que los moldes se engrasaron y que estaba preparada la mezcla para la elaboración de los cubos, es decir una vez que se determinó la fluidez y se verificó que estuviese dentro del rango, se procedió al llenado de los moldes.

El llenado de mortero se realizó en dos capas de igual espesor aproximadamente, en cada capa y antes del llenado de la subsecuente se le dieron 32 golpes en la superficie de cada capa, 16 golpes en los dos lados paralelos del molde que fueron 8 golpes de cada lado y así en los dos lados faltantes; después del llenado y compactado de cada capa se alzó verticalmente dos lados paralelos de la base de los cubos para expulsar el aire atrapado. El pizón es de forma rectangular en su base, de aproximadamente 2.5cm x 1.25cm, después del llenado de la última capa se tenía el cuidado de dejar un sobrante de mezcla en la superficie, esto para posteriormente enrazar el cubo utilizando una espátula o similar.

Una vez fabricados el número de cubos correspondientes a las edades de prueba especificadas tanto de la mezcla del testigo, sustitución y adición, posteriormente se dejan



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



fraguar en sus moldes al transcurso de 24 horas aproximadamente, los cubos se desmoldan (Ilustración 66).. En la superficie opuesta al enrazado de cada cubo con ayuda de un marcador indeleble se escribió su correspondiente nomenclatura (la nomenclatura que se le puso a todos los especímenes como son: cubos, cilindros, prismas y briquetas fue la misma), en dicha nomenclatura se escribió la fecha de elaboración del cubo, el material de sustitución o adición correspondiente a la mezcla, el porcentaje de la sustitución o adición con que se elaboró la mezcla.

Una vez realizado lo anterior, se procedió a curar los cubos de mortero (el curado para todos los especímenes como son: cubos, cilindros, prismas y briquetas fue el mismo) el curado que se dio a los especímenes fue por inmersión en agua hasta el día de la prueba (Ilustración 67).



Ilustración 65. Especímenes realizados en una mezcla.



Ilustración 66. Terminación desmolde de especímenes.



Ilustración 67. Curado de los especímenes.

REFERENCIA.

(NMX-C-159-ONNCCE, 2016).
(ASTM C192/C192M, 2018).

3.2.2.2. Elaboración de prismas.

Los moldes prismáticos para las pruebas de flexión deben ser rectangulares a menos de que se especifiquen de otra forma y de las dimensiones que estipule el método de prueba, además deben cumplir con las características mencionadas en la norma, la cual señala que las dimensiones interiores deben ser lisas y libres de imperfecciones, los lados y el fondo deben formar ángulos rectos entre sí. La máxima variación que se permite en cualquiera de las dimensiones de su sección transversal nominal es de ± 3 mm en moldes de 150 mm o más de profundidad, y de ± 1.5 mm en moldes de menor profundidad. Los moldes no deben variar de la longitud especificada en ± 1.5 mm, excepto para los especímenes por



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



flexión. Para la fabricación de los prismas de dimensiones 4cm x 4cm x 16cm, se utilizaron moldes de acero inoxidable para la prueba de flexión (Ilustración 68). El llenado de los prismas se realizó en dos capas de igual espesor aproximadamente 2cm cada capa se compactó con 16 golpes, después del llenado y compactado de cada capa se expulsó el aire atrapado movimiento verticalmente dos lados paralelos de la base del molde, se utilizó un pisón de forma rectangular en su base de aproximadamente 2.5cm x 1.25cm para la compactación en cada capa. Transcurridas 24 horas de su elaboración, se procedió a desmoldar los especímenes y se etiquetaron de la misma forma descrita en la elaboración de cubos para iniciar el proceso de curado por inmersión.



Ilustración 68. Moldes para la elaboración de prismas.



Ilustración 69. Prismas realizados en una mezcla.

REFERENCIA.

(NMX-C-159-ONNCCE, 2016).

(ASTM C192/C192M, 2018).

3.2.2.3. Elaboración de cilindros.

Los moldes cilíndricos verticales deben cumplir con las características mencionadas en la norma (NMX-C-159-ONNCCE, 2016), la cual señala que deben ser de lámina gruesa o cualquier material no absorbente, el plano definido por el borde del cilindro debe ser perpendicular a su eje; las dimensiones no deben variar en más de 1% de su diámetro y 1% de su altura de acuerdo a las dimensiones especificadas, respetando la relación 1:2 (diámetro: altura), deben estar provistos de una base maquinada metálica con planos lisos y con elementos para sujetarlas firmemente al molde con su plano perpendicular al eje del molde, las medidas del cilindro son de $\phi=5\text{cm}$ y $h=10\text{cm}$.

Se deben de llenar en 3 capas de igual espesor, en cada capa se compacta con una pequeña varilla que cumpla con lo establecido en la norma, aparte del varillado en cada



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



capa se adicionan algunos golpes exteriores con el mazo hasta que las burbujas de aire atrapadas desaparezcan por completo.



Ilustración 70. Cilindros realizados en una mezcla.

REFERENCIA.

(NMX-C-159-ONNCCE, 2016).

(ASTM C192/C192M, 2018).

3.2.2.4. Elaboración de briquetas.

Para la elaboración de briquetas se utilizaron moldes de bronce y se siguió el mismo procedimiento que para los demás especímenes, es decir, se limpiaron los moldes, se engrasaron para evitar que el material se adhiriera a las paredes y se procedió a llenarlos.

La elaboración de briquetas no tiene una reglamentación por norma, para su elaboración se procedió conforme el manual del Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (Navarro Sánchez, Martínez Molina, & Espinoza Mandujano, 2011), el cual consiste en llenar los moldes con mezcla y comprimirla con el dedo índice para después de eso, engrasar con una espátula y retirar el molde para continuar con la elaboración de las briquetas, esto debido a que el molde solo tiene capacidad para tres especímenes.

Como los moldes no tienen una base en la cual quede la mezcla, las briquetas se colocaron sobre una superficie de vidrio, la cual, estaba previamente engrasada para evitar que la mezcla se adhiriera a esta y sea más fácil separarlos después de 24 hr.



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



Ilustración 71. Briquetas realizadas en una mezcla.

REFERENCIA.

(Navarro Sánchez, Martínez Molina, & Espinoza Mandujano, 2011).

3.2.3. Curado de los especímenes.

Las normas (NMX-C-148-ONNCCE, 2010) y (ASTM C511, 2013) definen que el almacenamiento inicial corresponde básicamente al lugar donde fueron elaborados los especímenes, para lo cual, una vez realizado el acabado a la superficie, se debe cubrir el mortero con algún elemento que no absorba agua, con el fin de no permitir la pérdida de agua en el espécimen fresco. La remoción de los moldes debe efectuarse en no menos de 20 hr, ni después de 48 hr, luego de elaborado el elemento, procediendo a el almacenaje en un medio que permita el adecuado curado del mortero, en este caso la temperatura de curado debe ser $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ desde el momento del desmolde hasta el día en que se le realizaran las pruebas correspondientes. Todos los especímenes fueron curados sumergiéndolos en agua dentro de botes de plástico, a la cual se le monitoreo la temperatura para poder cumplir con la normatividad.



Ilustración 72. Curado de los especímenes de una mezcla.



REFERENCIA.

(NMX-C-148-ONNCCE, 2010).
(ASTM C511, 2013).

3.3. PRUEBAS REALIZADAS AL MORTERO ENDURECIDO.

Las pruebas realizadas al mortero se pueden clasificar en:

1. Físico-Mecánicas:
 - Destructivas
 - No destructivas
2. Por Durabilidad.

3.3.1. Pruebas no destructivas.

Según la ASNT American Society of Nondestructive Testing, la evaluación no destructiva es el examen de un objeto utilizando tecnologías que no afectan al uso de ese objeto luego de la evaluación. Por lo tanto, las pruebas no destructivas no alteran de forma permanente las propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales de un material (The American Society of Nondestructive Testing, 2016).

El diseño de mezclas de concreto inició a fines del siglo XIX y principio del siglo XX con el Dr. Duffus Abrams el año de 1918. Hasta fines del siglo XX el concreto hidráulico se diseñaba primordialmente basado en la resistencia mecánica a compresión, que es la propiedad índice del concreto, sin embargo desde el inicio del siglo XXI cambió la orientación y ahora debido al desempeño del concreto, a la vida útil, a la necesidad de disminución en el mantenimiento, el diseño de mezclas de concreto contempla también los criterios de durabilidad, es por esto que se hacen estudios de pruebas no destructivas que nos permiten saber la durabilidad de la estructura (Diciembre 2015, págs. 215-228).

Un método de ensayo no destructivo ideal para su utilización en estructuras de hormigón debe ser capaz de detectar las siguientes características o tipo de fallas (The American Society of Nondestructive Testing, 2016):

- Anchura de una pieza cuando no se tiene acceso a la parte posterior de la misma.
- Posición de elementos estructurales como ductos para tensores, posición de las armaduras de acero, etc.
- Corrosión de las piezas de acero, tanto tensores como refuerzos o armaduras.



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



- Fracturas de las piezas, detectando posición, tamaño, profundidad y anchura de la misma.
- Exceso de poros de aire que debita el hormigón (fenómeno conocido como “honeycomb”).
- Espacios vacíos en los ductos de los tensores que, con el tiempo, pueden provocar corrosión de estos tensores.
- Microfisuras que se producen como resultado de ciertos procesos químicos propios del hormigón.
- Determinación de límites y anchura de capas de hormigón de diferentes características.
- Resistencia a la compresión, que es la característica de diseño más importante del hormigón.
- Módulo de elasticidad que es otro parámetro de cálculo y diseño importante.
- Nivel de endurecimiento o fraguado que permite determinar el si la pieza puede ser sometida a carga.

3.3.1.1. Método de prueba estándar para la velocidad de pulso ultrasónico (VPU).

Esta prueba no destructiva tiene como principales objetivos:

1. Verificar la homogeneidad (uniformidad y calidad relativa) en este caso del mortero.
2. Detectar las fallas internas (presencia de vacíos) formadas durante la elaboración, la profundidad de las fisuras y otras imperfecciones.
3. Monitorear las variaciones de las propiedades del mortero a lo largo del tiempo, debido a la agresividad del medio expuesto.

La velocidad de pulso ultrasónico se considera como la relación que existe entre la distancia de viaje a través del mortero de una onda ultrasónica y el tiempo que tarda en recorrerla. Un impulso eléctrico generado por una unidad central se transmite a un emisor que excita un bloque de cristales, el emisor a través del bloque emite un pulso ultrasónico que viaja a través del mortero hasta que es detectado por el receptor. Aquí el pulso ultrasónico se convierte en un impulso eléctrico, el cual se registra en un osciloscopio



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



(visualización electrónica para la representación gráfica de señales eléctricas que pueden variar en el tiempo). El tiempo entre la descarga inicial y la recepción del pulso se mide electrónicamente. La longitud de la trayectoria entre los transmisores dividido entre el tiempo de viaje, da la velocidad promedio de la propagación de la onda (RED DURAR (Durabilidad de la armadura), 2000).

Para poder comenzar con las pruebas se obtuvieron las masas y dimensiones de los especímenes de mortero. La norma (ASTM C597, 2016) establece la prueba de velocidad de pulso ultrasónico (VPU).

El equipo empleado para esta prueba fue una máquina Dual para ensayos ultrasónicos y por rebote con introducción automática de los resultados del esclerómetro, modelo 58-E0049/B marca CONTROLS, medidor de velocidad de pulsos ultrasónicos con una escala de frecuencia de 24 a 150kHz; impedancia de entrada del receptor de 1M; salida RS 232, cuenta con la posibilidad de conectar un osciloscopio con una medición del tiempo de propagación de 0.1 a 1 999.9 μ s, velocidad de los impulsos con una selección de 1 a 10 por segundo, precisión 1 μ s, salida del transmisor hasta 1500V, funciona con baterías recargables internas, incluye un esclerómetro para ensayos en concreto con una energía de impacto de 2.207NM (Ilustración 73).

El equipo tiene dos transductores, un emisor y un receptor, estos transductores tienen que tener un buen contacto con la superficie de prueba (especimen) y para tal fin se emplea un gel).

Durante la realización de la prueba se tomó la precaución de mantener constantemente húmedos los especímenes y evitar así variantes en las lecturas (Ilustración 74).



Ilustración 73. Aparato para la determinación de la VPU.



Ilustración 74. Determinación de la VPU en un espécimen de cubo.



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



ESPECIFICACIONES.

De acuerdo con (RED DURAR (Durabilidad de la armadura), 2000), establece los criterios de evaluación de velocidad de pulso ultrasónico y así determinar la calidad del mortero de acuerdo a los resultados obtenidos en la investigación (Tabla 21).

Tabla 21. Criterios de evaluación de velocidad de pulso ultrasónico. (RED DURAR (Durabilidad de la armadura), 2000)

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

REFERENCIA.

(NMX-C-275-ONNCCE, 2004).

(ASTM C597, 2016).

3.3.1.2. Resistividad Eléctrica.

La resistividad eléctrica es una propiedad de cada material, y corresponde al recíproco de su conductividad. Su unidad de medida es el ohm-cm u ohm-m, depende en gran proporción del grado de saturación de los poros del mortero y en menor grado de la hidratación de la pasta y de la presencia de sales disueltas en la fase acuosa en función de variables tales como: el tipo de cemento, las adiciones inorgánicas, la relación agua/cemento, la porosidad de la estructura, entre otras.

La resistividad eléctrica fue la primera prueba no destructiva realizada a los especímenes cúbicos y prismáticos, los especímenes se extraían de la pila de curado y se cubrían con una franela húmeda para evitar la pérdida de humedad. Las mediciones correspondientes a esta prueba se realizaron con un equipo Resistómetro que mide resistividad eléctrica en suelos y materiales porosos (Ilustración 75), (ASTM G57, 2012).



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



Ilustración 75. Aparato para la determinación de la resistencia eléctrica.

PROCEDIMIENTO.

1. Se determinaron las dimensiones de la muestra (espécimen):

Cubos: lado 1, lado 2 y espesor (E).

Prismas: base (lado 1), espesor (lado 2) y longitud (L).

Cilindros: diámetro (D) y longitud (L).

Briquetas: lado 1 y lado 2 (E).

2. Se revisa la conexión de las terminales de corriente y voltaje.
3. Se monta la muestra en el equipo Nilsson Electrical Laboratory INC.
4. Se colocan las caras laterales del espécimen aprobar entre dos placas de cobre y entre éstas esponjas o pedazos de tela húmedos completamente para facilitar la trasmisión de corriente al ser sometida.
5. Mediante la fuente y a través de las placas metálicas adosadas a las caras laterales del espécimen se somete a una corriente dada (I) y voltaje (E), (Ilustración 76).



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



Ilustración 76. Determinación de la resistencia eléctrica en un cilindro.

CÁLCULOS.

La resistencia eléctrica (R) se calcula como E/I y se expresa en Ohm; es la medición que hace el equipo Resistómetro.

Para el cálculo de resistividad se utilizó la siguiente fórmula: (RED DURAR (Durabilidad de la armadura), 2000), como lo indica la fórmula (9).

$$\rho = Re \left(\frac{A}{L} \right) \quad (9)$$

Dónde:

ρ = Resistividad eléctrica en $K\Omega\text{-cm}$ (ohm-m).

Re= Resistencia eléctrica que el equipo proporciona, en Ω o $K\Omega$.

A= Área transversal del espécimen en cm^2 .

L= Longitud del espécimen en cm.

ESPECIFICACIONES.

Tabla 22. Criterios de evaluación de la resistividad eléctrica (RED DURAR (Durabilidad de la armadura), 2000).

Resistividad Eléctrica	Riesgo de Corrosión
< 10	Alto riesgo
10 a 200	Riesgo moderado
> 200	Poco riesgo



REFERENCIA.

(NMX-C-514-ONNCCE, 2016).

(ASTM G57, 2012).

3.3.1.3. % de Porosidad total.

La porosidad es uno de los principales factores que determinan la durabilidad del concreto y el mortero ya que en medida en que esta sea mayor o menor, los iones y agentes que degradan la matriz de cemento pueden avanzar más rápida o lentamente. También se sabe que la porosidad depende de la relación agua/cementante y del grado de hidratación del cementante.

Para la determinación de la porosidad total se utilizó un método de gravedad específica, el cual consiste en saturar una muestra de mortero bajo vacío. Una vez que está completamente saturada (sumergida en agua) es pesado con precisión al centigramo y su volumen está determinado por el peso hidrostático. Entonces la muestra es secada al horno a una temperatura de $60 \pm 2^\circ\text{C}$. El secado se detiene cuando la masa de la muestra permanece constante, que es cuando la variación entre dos ponderaciones sucesivas es menor de 0.05%. (Gouygou, Lafhaj, & Soltani, 2009).

Es necesario mencionar que en la presente investigación no se siguió el procedimiento como lo dicta el método. Por cuestiones de tiempo y volumen de especímenes a analizar, se decidió utilizar las muestras saturadas bajo inmersión a presión atmosférica, es decir, dado que las muestras estuvieron en agua de curado desde su elaboración hasta el momento de la prueba se asumió que estaban completamente saturadas y el secado se realizó en horno a una temperatura de $60 \pm 5^\circ\text{C}$ durante 7 días (una semana).

PROCEDIMIENTO.

1. Se secan las muestras superficialmente con una franela y se determina su masa superficial seca (M_{ss} = Masa superficialmente seca).
2. Se adapta una canastilla a la balanza y se sumerge en agua para determinar su masa.
3. Se coloca la muestra dentro de la canastilla sumergida para determinar su masa sumergida más la canastilla.
4. Se determina la masa sumergida del espécimen (M_a = Masa sumergida), (Ilustración 77).
5. Se secan las muestras en el horno a una temperatura de $60^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ durante 7 días (una semana).



**“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado
con almidón de arroz”**



6. Se deja enfriar a temperatura ambiente y se determina su masa seca con ayuda de una balanza (Ms=Masa seca), (Ilustración 78).



Ilustración 77. Masa del espécimen bajo vacío.

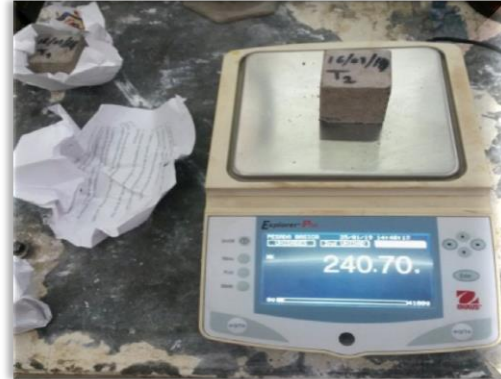


Ilustración 78. Masa seca del espécimen.

CÁLCULOS.

El porcentaje de Porosidad Total se calcula con la fórmula (10).

$$\% \text{ de Porosidad Total} = \left(\frac{M_{ss} - M_s}{M_{ss} - M_a} \right) * (100) \tag{10}$$

Dónde:

M_{ss}= Es la masa de la muestra superficialmente seca (gr).

M_s= Es masa de la muestra seca (gr).

M_a= Es la masa de la muestra sumergida (gr).

ESPECIFICACIONES.

Tabla 23. Criterios de evaluación para % de porosidad. (RED DURAR (Durabilidad de la armadura), 2000).

% de Porosidad	Calidad del mortero
< 10%	Buena calidad y compacidad
10% a 15%	Moderada compacidad
> 15%	Durabilidad inadecuada



REFERENCIA.

(Navarro Sánchez, Martínez Molina, & Espinoza Mandujano, 2011).

3.3.1.4. Densidad.

Densidad es la magnitud que refleja el vínculo que existe entre la masa de un cuerpo y su volumen.

Esta prueba se realizó a las 5 mezclas elaboradas que son las siguientes: testigo, adición del 3% y 5%, sustitución del 3% y 5%; a las edades de 7, 14, 21, 28, y 45 días a cada edad se midió la densidad a 3 especímenes de cubos y cilindros, y se promedió el resultado, para obtener una densidad más representativa de la mezcla.

PROCEDIMIENTO.

1. Se saturan completamente las muestras o especímenes en inmersión de agua (curado) hasta que se realice la prueba.
2. Se secan las muestras superficialmente con una franela y se determina su masa superficial seca (M_{ss} = Masa superficialmente seca).
3. Se calcula el volumen (V) del espécimen con ayuda del picnómetro (Ilustración 79).



Ilustración 79. Medición del volumen de un espécimen.

CÁLCULOS.

La Densidad en un espécimen se calcula con la fórmula (11).

$$\text{Densidad} = \frac{M_{ss}}{V} \quad (11)$$



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



Dónde:

Mss= Masa superficialmente seca (gr).

V= Volumen (ml).

REFERENCIA.

(Navarro Sánchez, Martínez Molina, & Espinoza Mandujano, 2011).

3.3.2. Pruebas destructivas.

Las pruebas destructivas son aquellas que evalúan la resistencia mecánica del concreto, se refiere básicamente a la capacidad de soportar toda clase de esfuerzos, esta capacidad depende de la resistencia de los agregados y la pasta del cemento hidratado, así como de la integración que se genere entre ellos.

Los especímenes elaborados son sometidos a varias pruebas destructivas, las cuales definirán la resistencia que tiene el mortero ante ciertos esfuerzos, asimilando cuando estos están expuestos en la vida real. Con estas pruebas destructivas se puede saber en qué función estructural es más óptimo el uso de este mortero.

3.3.2.1. Resistencia a Compresión.

Esta prueba se le realizó a especímenes cúbicos de 5×5×5 cm por lado utilizando una prensa hidráulica. Se le realizó a 3 especímenes de cada mezcla: del testigo, adición del 3% y 5% de almidón, y también de sustitución del 3% y 5% de almidón; a las siguientes edades 7, 14, 21, 28, y 45 días. Se hizo un promedio de los resultados de los 3 cubos de cada edad y el resultado obtenido se tomó como la resistencia a la compresión simple. Por lo tanto, fueron 5 mezclas diferentes a edades diferentes de especímenes cúbicos realizada la prueba de Resistencia a compresión simple.

PROCEDIMIENTO.

1. Una vez que las muestras han cumplido la edad correspondiente a la prueba, se extraen del lugar en donde se realizó el curado de los especímenes.
2. Se seca con una franela cada espécimen hasta que este superficialmente seca.
3. Se miden las dimensiones de cada cubo (L_1 , L_2 , E), para después calcular su área que se necesita para la fórmula de esfuerzo a compresión simple. Cabe mencionar que todos los especímenes de cada mezcla previo a esta prueba destructiva, se realizó todas las pruebas no destructivas, por lo que los cubos ya estaban marcados en la cara que serían probados (la cara más favorable).



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



4. En la máquina prensa hidráulica se coloca el cubo sobre la base y al centro de la platina con la finalidad de que la carga aplicada se distribuya sobre toda el área del cubo. (Ilustración 80).
5. Se comienza a aplicar la carga a una velocidad constante durante toda la prueba hasta la falla del cubo y registrando la carga máxima de falla para posteriormente calcular el esfuerzo a compresión simple del espécimen (Ilustración 81). La carga máxima que soporta el espécimen cubico se sabe cuándo la carga registrada en la pantalla que está en la parte superior de la maquina es la misma o empieza a bajar y por lo tanto el cubo presenta fallas considerables en alguna de sus caras.



Ilustración 80. Colocación del espécimen en la prensa hidráulica.

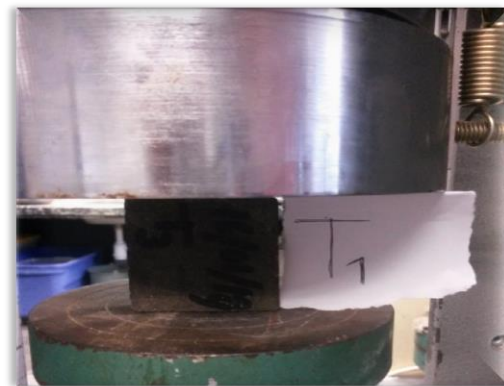


Ilustración 81. Falla del espécimen.

CÁLCULOS.

La Resistencia a la Compresión Simple se calcula con la fórmula (12).

$$R = \frac{W}{A} \quad (12)$$

Dónde:

R = Resistencia a la compresión simple (kg_f/cm^2).

W= Carga de ruptura de la muestra (Kg).

A = Área de la muestra (cm^2).

REFERENCIA.

(NMX-C-083-ONNCCE, 2014).

(ASTM C109/C109M-16, 2016)



3.3.2.2. Resistencia a flexión estática (Módulo de ruptura).

Definición.

Módulo de ruptura:

Es el valor obtenido mediante el procedimiento indirecto para determinar la resistencia a la tensión del mortero por el ensayo a la flexión de una viga.

Preparación del espécimen:

Debe cumplir con lo establecido en las norma mexicana (NMX-C-159-ONNCCE, 2016).

La distancia entre apoyos debe ser de tres veces el peralte de la viga, con una tolerancia de $\pm 2\%$, ésta debe marcarse en las caras del espécimen previo a su ensayo.

Cabe subrayar que la longitud del espécimen debe ser la distancia entre apoyos más 50 mm como mínimo. Por su parte, las caras laterales del espécimen deben estar en ángulo recto con las caras horizontales. Las superficies deben ser lisas y libres de bordes, hendiduras, agujeros o identificaciones grabadas.

PROCEDIMIENTO.

1. Se midió y marcó el prisma a 2 centímetros de cada extremo y también a la mitad de la viga, con el fin de colocar los apoyos requeridos en esta prueba (Las medidas se hicieron alrededor de las 4 caras, para ver la dirección de la falla).
2. Se utilizan los soportes adecuados para esta prueba y se colocan los apoyos con cinta para evitar que se muevan durante la prueba (Ilustración 82).
3. Se aplica carga sin impacto y a una velocidad constante hasta que el espécimen falla. (Ilustración 83).
4. Se registra la carga soportada, este procedimiento se realizó a 3 especímenes de cada edad.



Ilustración 82. Espécimen colocado en la prensa hidráulica.



Ilustración 83. Falla del espécimen.

CÁLCULOS.

Si la fractura se presenta a la mitad del claro, la Flexión Estática se calcula con la fórmula (13).

$$MR = \frac{3PL}{2(b)(d)(d)} \quad (13)$$

Dónde:

MR= Módulo de ruptura MPa (kgf/cm²).

P= Carga máxima aplicada kgf).

L= Distancia entre apoyos (cm).

b= Ancho promedio del espécimen (cm).

d= Peralte promedio del espécimen (cm).

REFERENCIA.

(NMX-C-303-ONNCE, 2010).

(ASTM C348, 2018).

3.3.2.3. Resistencia a la tensión indirecta, Prueba Brasileña o Prueba de Joao Carneiro.

OBJETIVO.

Determinar la resistencia a la tensión indirecta de cilindros de concreto y/o mortero.

El concreto posee muy baja resistencia a la tensión y por lo tanto esta propiedad no se tiene en cuenta en el diseño de estructuras normales. Sin embargo, la tensión tiene



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



importancia en el agrietamiento del concreto debido a la restricción de la contracción inducida por el secado o por disminución de la temperatura. Los concretos preparados con agregados livianos (ligero estructural 500-1100 kg/cm³) se encogen (contraen) considerablemente más que los normales y por lo tanto la resistencia a la tensión puede ser tenida en cuenta en el diseño de la estructura correspondiente.

PROCEDIMIENTO.

1. En cada extremo de los especímenes se trazan líneas diametrales usando un dispositivo adecuado que asegure estén en el mismo plano axial.
2. Se toman las dimensiones del diámetro promediando las medidas, dos cerca de los extremos y una al centro siguiendo el plano de los diámetros marcados en los extremos. La longitud se obtiene promediando las dos medidas de las líneas que unen los extremos de cada línea que marca el diámetro en las dos caras del espécimen.
3. Se colocó una de las tiras de cuero a lo largo del centro de la placa de apoyo inferior. El espécimen se coloca sobre la tira de cuero y se acomoda de tal modo que las líneas marcadas en sus dos extremos sean verticales y queden concentradas sobre la tira inferior, se coloca longitudinalmente la segunda tira de cuero sobre el cilindro concentrándola sobre las líneas marcadas sobre las líneas en los extremos del mismo (Ilustración 84).

El conjunto debe de colocarse de tal manera que garantice las siguientes condiciones:

- Que la prolongación del plano que contenga las dos líneas marcadas en los extremos del espécimen pasen por el centro de la placa superior de apoyo.
 - Que la placa suplementaria cuando se use y el centro del espécimen esté directamente debajo del centro de la placa con apoyo esférico.
4. Aplicación de carga. La carga se aplica continuamente y sin impacto a una velocidad uniforme; debe de anotarse la carga máxima aplicada que indique la máquina de ensaye (Ilustración 85).
 5. el tipo de falla y la apariencia del mortero (Ilustración 86).



Ilustración 84. Colocación del espécimen en la prensa hidráulica.



Ilustración 85. Falla del espécimen.



Ilustración 86. Apariencia del espécimen.

CÁLCULOS.

La Resistencia a la Tensión Indirecta se calcula con la fórmula (15).

$$T = \frac{2P}{dL\pi} \quad (15)$$

Dónde:

T = resistencia a tensión indirecta (kg/cm^2).

P = carga aplicada máxima (kg).

L = longitud (cm).

d = diámetro (cm).

REFERENCIA.

(NMX-C-163-ONNCCE, 2018).

(ASTM C496/C496M, 2017).

3.3.2.4. Resistencia a la tensión directa.

OBJETIVO.

Determinar la resistencia a la tensión en un mortero. Para la determinación de la resistencia a tensión en briquetas se utilizó la máquina de prueba para tensión directa en morteros tipo Michaelis.



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



PROCEDIMIENTO.

1. En la fecha de prueba establecida, se extrae la muestra del área de curado y se seca superficialmente (3 muestras en cada prueba).
2. Se toman las medidas de la sección media (S_m) de la briqueta que son: Lado 1 y lado 2 (E) y se anotan para después calcular el área de la briqueta.
3. Se coloca la briqueta en la máquina Michaelis la cual se nivela previamente.
4. Se aplica la carga lentamente por medio de municiones, las municiones son colocadas en la tolva de la máquina hasta que falle la muestra (Ilustración 87).
5. Después de la falla de la muestra, se retiran las municiones y pesándolas al décimo de gramo se registra como la masa de las municiones (Mm), que es considerada como la carga que soportó la sección media de la briqueta.



Ilustración 87. Falla de la briqueta.

CÁLCULOS.

La Resistencia a la Tensión directa se calcula con la fórmula (16).

$$R = \frac{Mm * 50}{S_m} \quad (16)$$

Dónde:

R = resistencia a la tensión (kgf/cm^2) o (MPa).

Mm = Masa de las municiones o carga de ruptura (Kg).

S_m = Sección media de la briqueta (cm^2).

50 = constante de la máquina.



REFERENCIA.

(Navarro Sánchez, Martínez Molina, & Espinoza Mandujano, 2011).

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Resultados y discusiones obtenidos en la caracterización de los materiales utilizados para la elaboración de las mezclas de mortero. Los resultados de cada mezcla de mortero se compararon con el mortero de testigo (T) y así saber que mezcla tenía mejores propiedades físicas y mecánicas.

Elaboración de 5 mezclas las cuales son:

- 6. T= Mortero testigo con el 100% de cemento.
- 7. A.A +5%= Mortero con adición de Almidón de Arroz del 5%.
- 8. A.A -5%= Mortero con sustitución de Almidón de Arroz del 5%.
- 9. A.A +3%= Mortero con adición de Almidón de Arroz del 3%.
- 10. A.A -3%= Mortero con sustitución de Almidón de Arroz del 3%.

4.1. CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO FINO.

En la Tabla 24 se muestran los resultados obtenidos de la caracterización de la arena del banco de material “Joyitas”.

Tabla 24. Resultados de las pruebas realizadas a la arena.

Pruebas de la arena “joyitas”	Resultado	Especificación
Humedad de Absorción (NMX-C-165-ONNCCE, 2014)	4.7%	2% - 4%
MVSS (NMX-C-073-ONNCCE, 2014)	1.4 gr/cm ³	No establece
MVSV (NMX-C-073-ONNCCE, 2014)	1.48 gr/cm ³	No establece
Módulo de Finura (NMX-C-111-ONNCCE, 2018)	2.68	2.3-3.2 (Aceptable)
Colorimetría (NMX-C-088-ONNCCE, 1997)	< 3	No. 3 Max. (Aceptable)



**“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado
con almidón de arroz”**



Sedimentación (NMX-C-072-ONNCCE, 2006)	< 444	< 444 (Aceptable)
Materiales finos que pasan la malla #200 (NMX-C-084-ONNCCE, 2018)	9%	5% Max. (No Aceptable)
Contenidos de terrones de arcilla (NMX-C-071-ONNCCE, 2004)	1.1 %	< 1% (Aceptable)
Densidad (NMX-C-165-ONNCCE, 2014)	2.4 gr/cm ³	> 2.15 gr/cm ³ (Aceptable)

4.1.1. Cálculos de pruebas realizadas a la arena.

Tabla 25. Cálculo de la MVSS en la arena.

MASA VOLUMÉTRICA SECA Y SUELTA (MVSS)					
Muestra	Tara Recipiente (gr)	Vol. Recipiente (cm ³)	Peso bruto (gr)	Masa Neta (gr)	Masa volumétrica (gr/cm ³)
1	1845	2785	5730	3885	1.39
2	1845	2785	5760	3915	1.41
				Promedio=	1.40

Tabla 26. Cálculo de la MVSV en arenas.

MASA VOLUMÉTRICA SECA Y VARILLADA (MVSV)					
Muestra	Tara Recipiente (gr)	Vol. Recipiente (cm ³)	Peso bruto (gr)	Masa Neta (gr)	Masa volumétrica (gr/cm ³)
1	1845	2785	5970	4125	1.48
2	1845	2785	5950	4105	1.47
				Promedio=	1.48



**“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado
con almidón de arroz”**



Tabla 27. Cálculo de la Densidad en arenas.

DENSIDAD EN ARENAS					Densidad (gr/cm ³)= As/Vf-(K- F-As)
Muestra	Peso de la probeta (F)	Arena Saturada (As)	K=F+As+Agua	Vol. Final (Vf)	
1	323.2	300	948.7	450	2.4
2	301.4	300	922.4	450	2.3
				Promedio=	2.4

Tabla 28. Cálculo del % de Humedad de Absorción en arenas.

% HUMEDAD DE ABSORCIÓN EN ARENAS				
Muestra	Masa Saturada (gr)	Masa Seca (gr)	Humedad absorbida (gr)	% Hum. Absorción
1	250	239	11	4.6
2	250	238.5	11.5	4.8
			Promedio=	4.7

Tabla 29. Cálculo de Material que pasa la Malla # 200.

MATERIAL QUE PASA POR LA MALLA #200			
Muestra	Masa inicial (gr)	Masa final (gr)	% que pasa la malla #200
1	600	543.2	9.5
2	600	549.1	8.5
		Promedio=	9.0

Tabla 30. Cálculo de Terrones de arcillas en arenas.

TERRONES DE ARCILLA EN ARENAS			
Muestra	Masa inicial (gr)	Masa final (gr)	% Terrones de arcilla
1	100	98.4	1.6
2	100	99.5	0.5
		Promedio=	1.1



**“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado
con almidón de arroz”**



Tabla 31. Cálculo de la Composición Granulométrica en arenas 1.

COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA				
Masa de la muestra 1 (gr)=	479.2			
# de Malla	Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulativo	% Que pasa
8	27.6	5.8	5.8	94.2
16	111	23.2	28.9	71.1
30	195.4	40.8	69.7	30.3
50	26.6	5.6	75.3	24.7
100	68.4	14.3	89.5	10.5
200	19.6	4.1	93.6	6.4
Charola	30.6	6.4	100.0	0.0
Sumatoria=	479.2			

Tabla 32. Cálculo de la Composición Granulométrica en arenas 2.

COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA				
Masa de la muestra 2 (gr)=	522.8			
# de Malla	Peso Retenido (gr)	%Retenido Parcial	% Retenido Acumulativo	% Que pasa
8	26	5.0	5.0	95.0
16	113.4	21.7	26.7	73.3
30	215.2	41.2	67.9	32.1
50	61.4	11.8	79.6	20.4
100	43.2	8.3	87.9	12.1
200	24.6	4.7	92.6	7.4
Charola	38.6	7.4	100.0	0.0
Sumatoria=	522.4			



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



Tabla 33. Cálculo del Módulo de Finura en arenas.

Muestra	MÓDULO DE FINURA	
1	M.F(Sumatoria de %Retenido Acumulativo en Malla #8 a Malla #100/100)=	2.69
2	M.F(Sumatoria de %Retenido Acumulativo en Malla #8 a Malla #100/100)=	2.67
	Promedio=	2.7

Para fines de calidad se recomienda que el Modulo de Finura (MF) este entre 2.5 y 3.0, también puede estar entre 2.3 y 3.1. Por lo tanto, esta arena si cumple con el límite establecido.

La distribución granulométrica de la arena “Joyitas” y los limites superior e inferior en morteros establecido por la norma mexicana (NMX-C-111-ONNCCE, 2018), se presenta en la Ilustración 88.

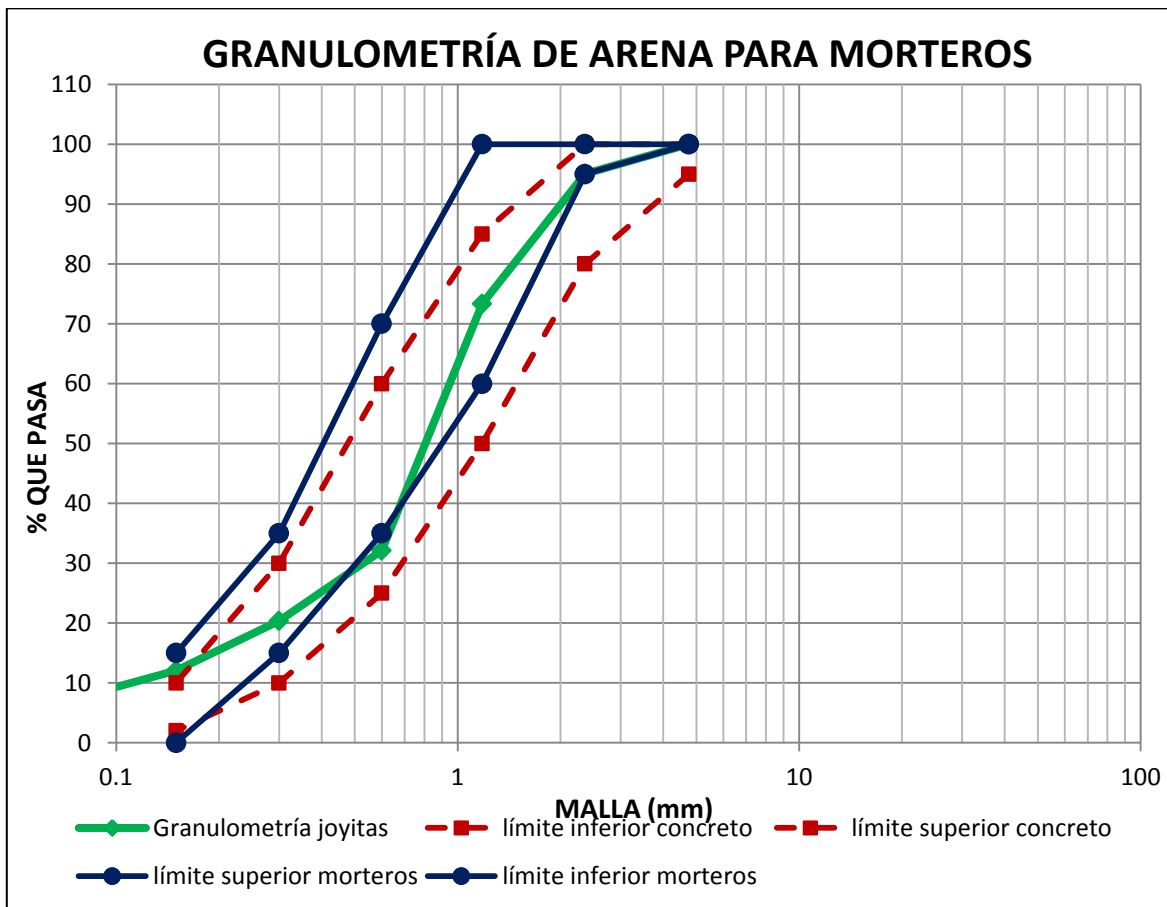


Ilustración 88. Granulometría de la arena "Joyitas" con los límites de mortero.



4.2. CARACTERIZACIÓN AL CEMENTO.

4.2.1. Densidad del cemento.

La densidad del cemento debe estar en el rango de 2.9-3.15 que establece la norma (NMX-C-152-ONNCCE, 2015). En la Tabla 34 se puede ver que el cemento utilizado si cumple con este rango.

Tabla 34. Resultado de la Densidad del Cemento.

DENSIDAD DEL CEMENTO.					
Cemento	Muestra	Masa(gr)	Vi(cm³)	Vf(cm³)	Densidad (gr/cm³)
CPC-30R-RS	1	64	0.6	22.1	2.98
	2	64	0.1	20.9	3.08
				Promedio=	3.03

4.2.2. Consistencia normal y tiempos de fraguado del cemento.

En la Tabla 35 el resultado de la consistencia normal del cemento utilizado (T), si cumple con el límite establecido en la norma (NMX-C-057-ONNCCE, 2015).

El % agua (consistencia normal %) se calcula con la fórmula (17).

$$\% \text{ agua (consistencia normal \%)} = \left(\frac{\text{agua}}{\text{cemento}} \right) * 100 \quad (17)$$

Cemento= 300 gr

Tabla 35. Resultados de Consistencia Normal.

Material	Consistencia normal (%)	Valores habituales de consistencia normal (%)
T	32	26-33
A.A +5%	37	
A.A -5%	34.5	
A.A +3%	34.5	
A.A -3%	34.5	



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



En la Tabla 36 el resultado de fraguado inicial y final del cemento utilizado (T), si cumple con el límite establecido en la norma (NMX-C-414-ONNCCE, 2017).

Tabla 36. Resultados del Fraguado Inicial y Final del Cemento utilizado (T).

Material	Fraguado inicial (min)	Fraguado final (min)	Límites (NMX-C-414-ONNCCE, 2017)	
			Fraguado inicial (min)	Fraguado final (min)
T	300	510	>45	<600
A.A +5%	330	660		
A.A -5%	-	-		
A.A +3%	-	-		
A.A -3%	-	-		

4.3. PRUEBAS REALIZADAS AL MORTERO FRESCO.

4.3.1. Fluidez.

La prueba de fluidez se realizó sin utilizar ningún tipo de aditivo con una relación de agua cemento de 0.82 ya que con esta relación se cumplió la tolerancia de la fluidez que establece la norma (NMX-C-061-ONNCCE, 2015), pero al hacer la mezcla con la mezcladora mecánica la mezcla resultante estaba muy fluida que en la práctica constructiva no sería manejable o trabajable para ser utilizada como mortero. Entonces se propuso hacer las 5 mezclas incluyendo el testigo con una relación agua/cemento de 0.68 sin usar ningún aditivo. Por lo tanto, las mezclas fueron hechas con la misma relación utilizando la mezcladora mecánica, para comparar sus propiedades mecánicas y físicas y saber cuál desempeñaría mejores propiedades.

4.4. PRUEBAS REALIZADAS AL MORTERO ENDURECIDO.

4.4.1. Pruebas no destructivas.

4.4.1.1. Velocidad de pulso ultrasónico (VPU).

Velocidad de pulso ultrasónico en cubos.

Los resultados obtenidos en la prueba de velocidad de pulso ultrasónico (VPU) en cubos de las 5 mezclas, muestran que el Testigo (T) alcanzo el mejor resultado con un valor de 4021.3 m/s clasificado como un mortero de calidad durable, la segunda mejor mezcla fue el Almidón de arroz con adición de 3% (A.A +3%) con un resultado de 3968m/s a la edad de 45 días, mientras que la mezcla menos favorable fue el Almidón de arroz con sustitución del 5% (A.A -5%) con un resultado de 3876.7 m/s, sin embargo, todas las



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



mezclas superaron el valor de 3001 m/s a las edades de 7, 14, 21, 28 y 45, lo cual indica que se encuentran en un criterio de calidad alta de mortero (RED DURAR (Durabilidad de la armadura), 2000), de acuerdo a la Ilustración 89.

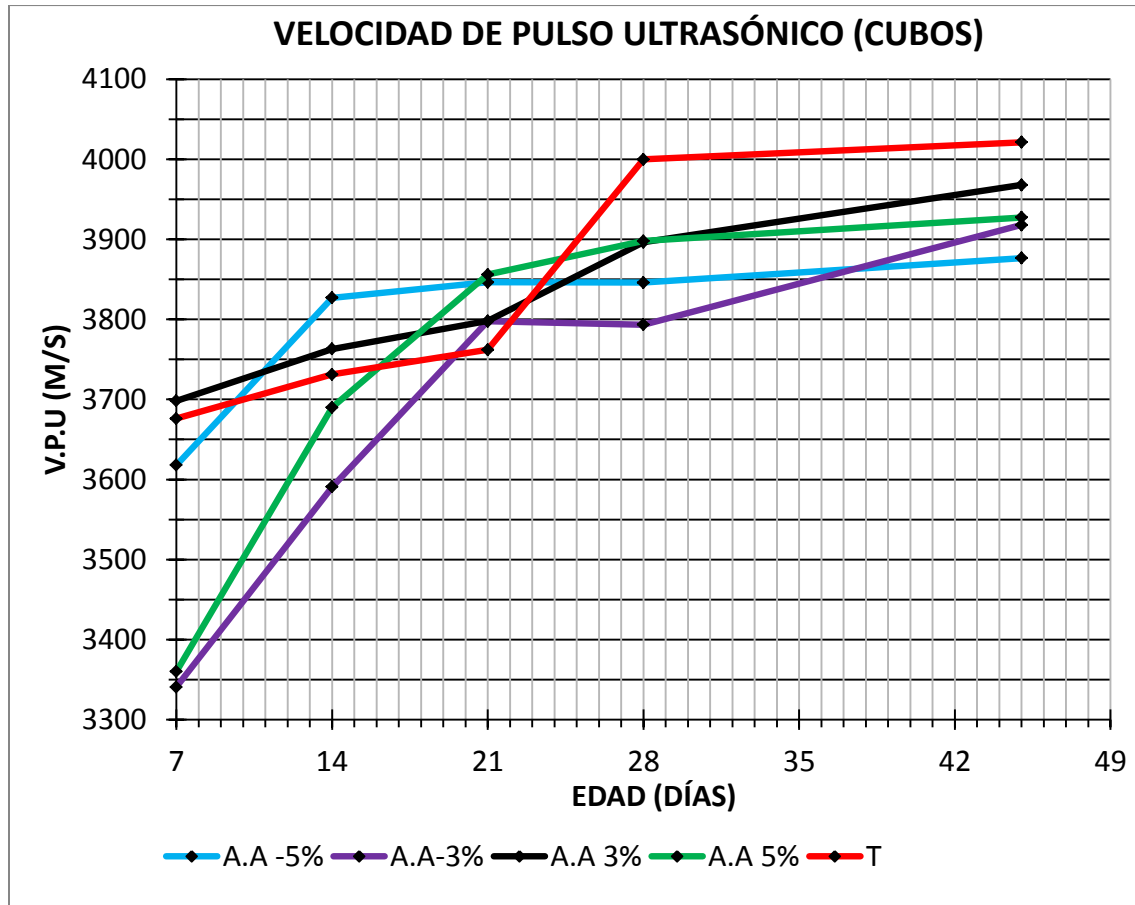


Ilustración 89. Velocidad de pulso ultrasónico en cubos.

Velocidad de pulso ultrasónico en cilindros.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la prueba de velocidad de pulso ultrasónico (VPU) en cilindros de las 5 mezclas, se observa que el Testigo (T) alcanzó el mejor resultado con un valor de 4027 m/s y en segundo lugar el Almidón de arroz con adición del 5% (A.A +5%) con un resultado de 3948 m/s a la edad de 45 días, mientras que la mezcla menos favorable fue el Almidón de arroz con sustitución del 5% (A.A -5%) con un resultado de 3680 m/s a la edad de 45 días. Además se puede observar que todas las mezclas superaron el valor de 3001 m/s a edades de 14, 21, 28 y 45 días, lo cual indica que las mezclas son de alta calidad, de acuerdo a los criterios establecidos (RED DURAR (Durabilidad de la armadura), 2000). Dichos resultados se observan en la Ilustración 90.

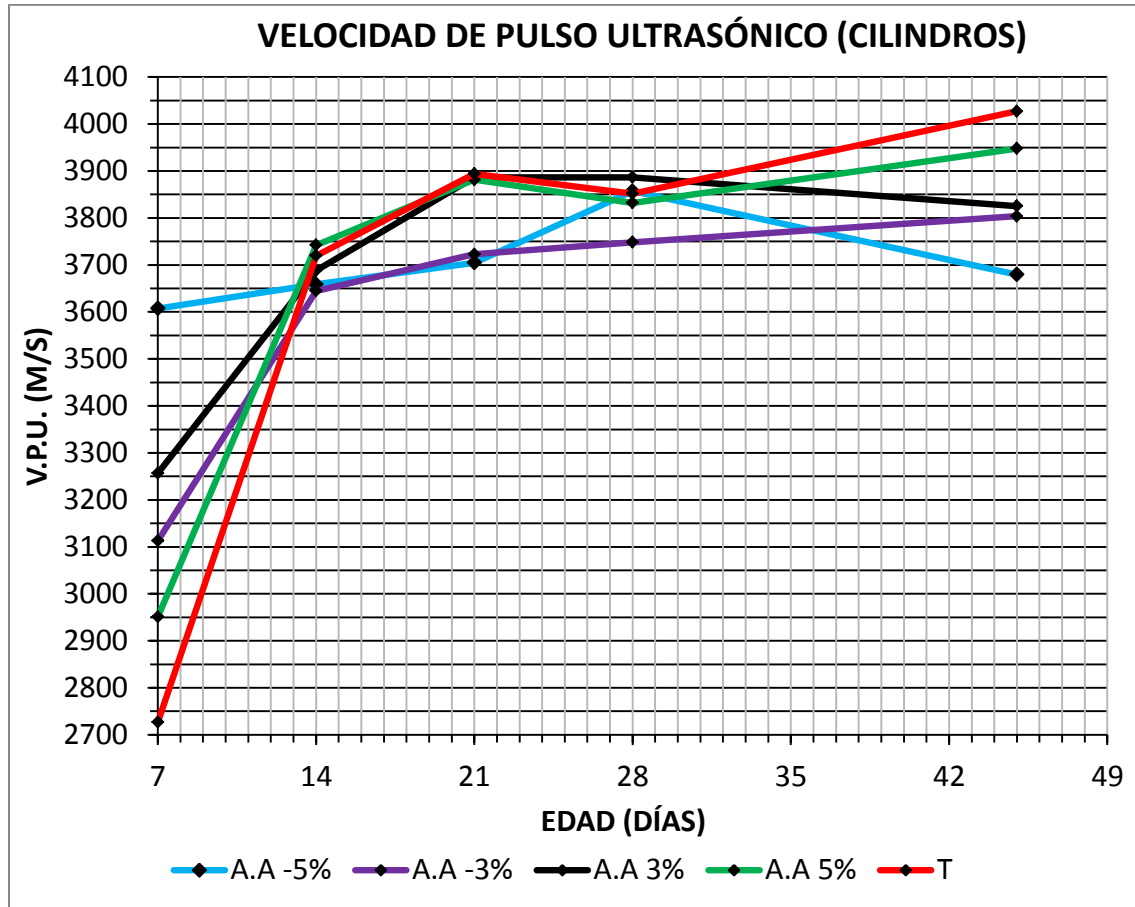


Ilustración 90. Velocidad de pulso ultrasónico en cilindros.

4.4.1.2. Resistividad eléctrica.

Resistividad eléctrica en cubos.

Los resultados obtenidos en cubos de todas las mezclas a edades de 7, 14, 21, 28 y 45 días de edad, presentan alto riesgo de corrosión, ya que los valores son inferiores de 10 k Ω -cm de acuerdo a los criterios de durabilidad (RED DURAR (Durabilidad de la armadura), 2000). La mezcla Testigo (T) alcanzó el mejor resultado a los 45 días de edad, con un valor de 6.24 k Ω -cm y en segundo lugar el Almidón de arroz con adición del 5% (A.A +5%) con un resultado a la edad de 45 días de 5.82 k Ω -cm y en último lugar el Almidón de arroz con sustitución del 3% (A.A -3%) con un resultado a la edad de 45 días de 5.12 k Ω -cm. Lo cual se presenta en la Ilustración 91.

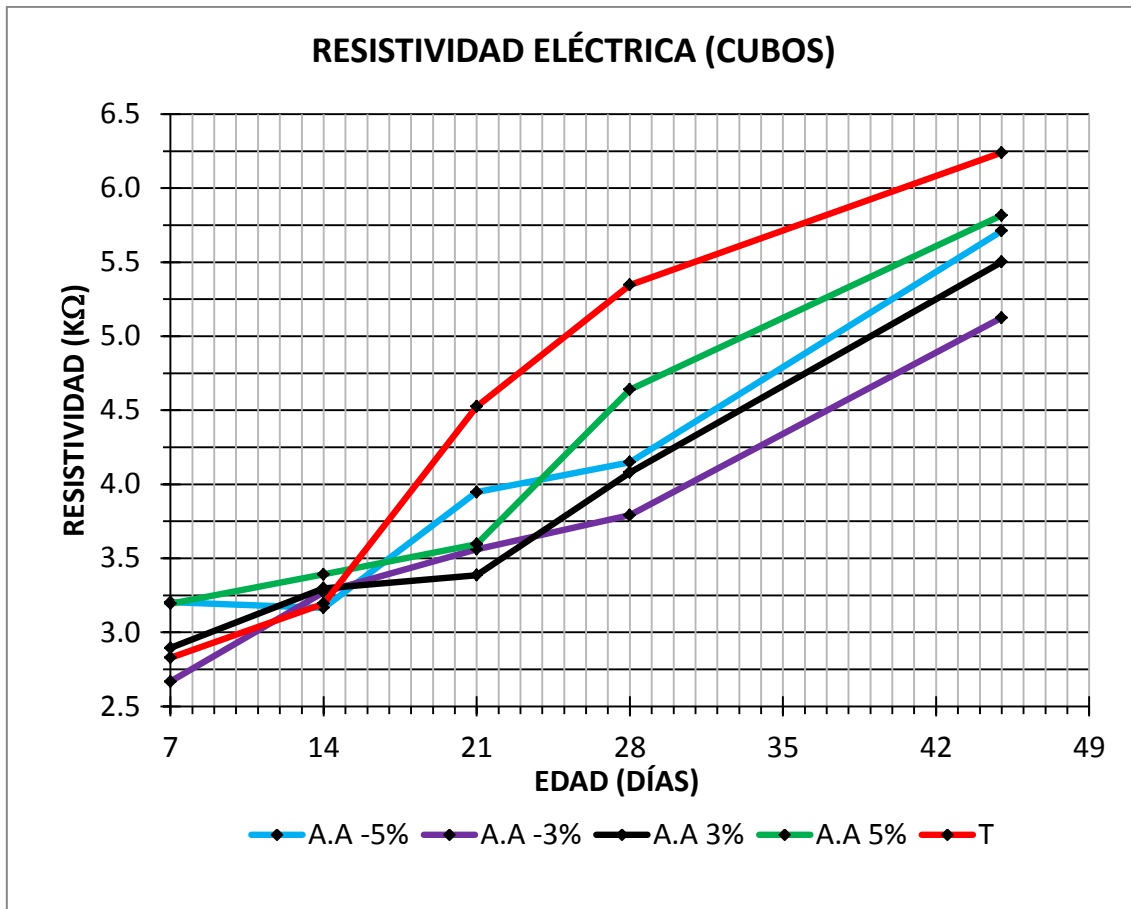


Ilustración 91. Resistividad eléctrica en cubos.

Resistividad eléctrica en cilindros.

Los resultados obtenidos en cilindros de todas las mezclas a edades de 7, 14, 21, 28 y 45 días de edad, presentan alto riesgo de corrosión, ya que los valores son inferiores de 10 $k\Omega\text{-cm}$ de acuerdo a los criterios de durabilidad (RED DURAR (Durabilidad de la armadura), 2000). La mezcla Testigo (T) alcanzó el mejor resultado a los 45 días de edad, con un valor de 5.23 $k\Omega\text{-cm}$ y en segundo lugar el Almidón de arroz con adición del 3% (A.A +3%) con un resultado a la edad de 45 días de 4.55 $k\Omega\text{-cm}$ y en último lugar el Almidón de arroz con sustitución del 3% (A.A -3%) con un resultado a la edad de 45 días de 4.03 $k\Omega\text{-cm}$. Lo cual se presenta en la Ilustración 92.

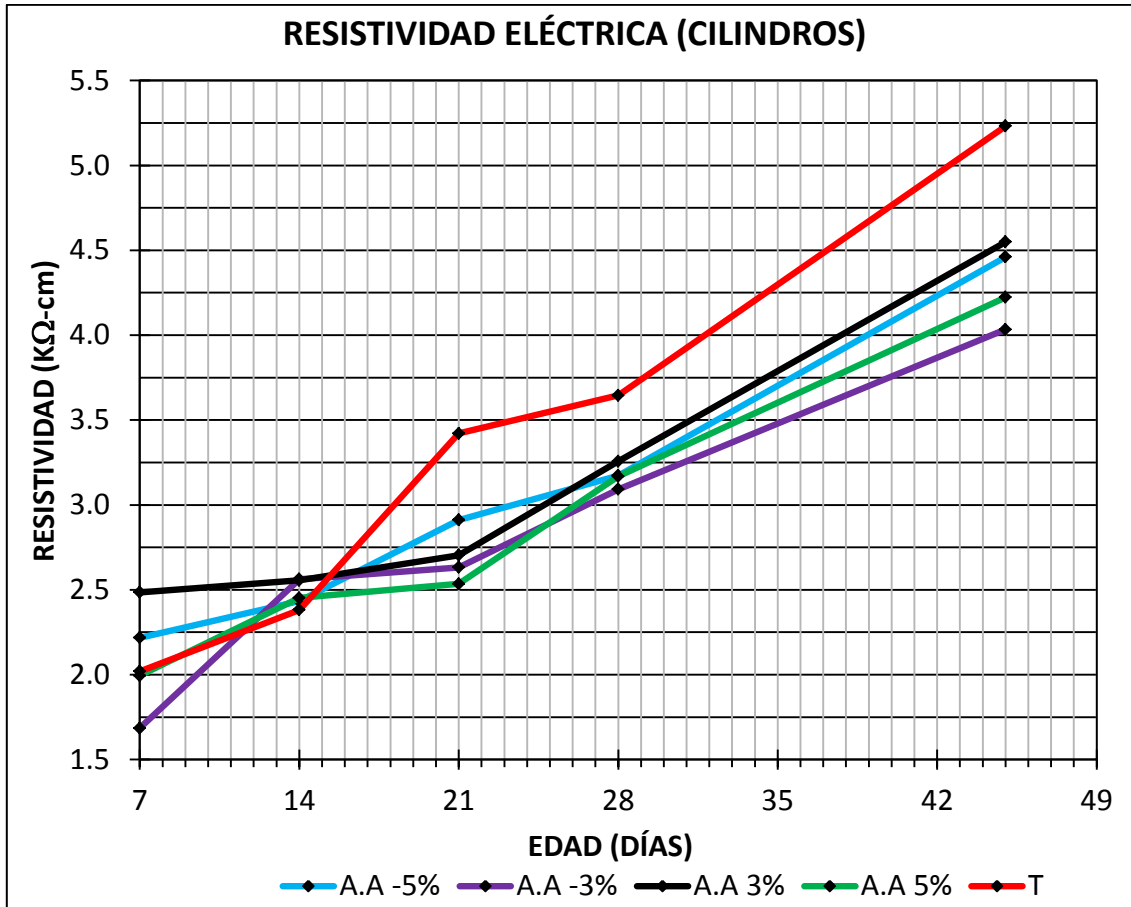


Ilustración 92. Resistividad eléctrica en cilindros.

4.4.1.3. % de Porosidad total.

Porosidad total en cubos.

Los resultados en cubos indican que la adición del 5% de Almidón de arroz (A.A 5%) es la mezcla que presenta el mejor resultado a la edad de 45 días con un promedio de 17.05% de porosidad y en segundo lugar se encuentra la mezcla de Almidón de arroz con adición del 3% (A.A +3%) con un resultado de 18.92% de porosidad, encontrando la mayor porosidad en la mezcla de Almidón de arroz con sustitución del 3% (A.A -3%) con un resultado a la edad de 45 días de 20.51%. De acuerdo a los criterios de evaluación para % de porosidad de la armadura (RED DURAR (Durabilidad de la armadura), 2000) los resultados obtenidos a la edad de 7, 14, 21, 28 y 45 días en las 5 mezclas se encuentran en el criterio de durabilidad inadecuada, ya que los resultados son mayores a 15% de porosidad, lo cual indica que la durabilidad del mortero es inadecuada, ya que permite la penetración de agentes agresivos al mortero. Como se muestra en la Ilustración 93.

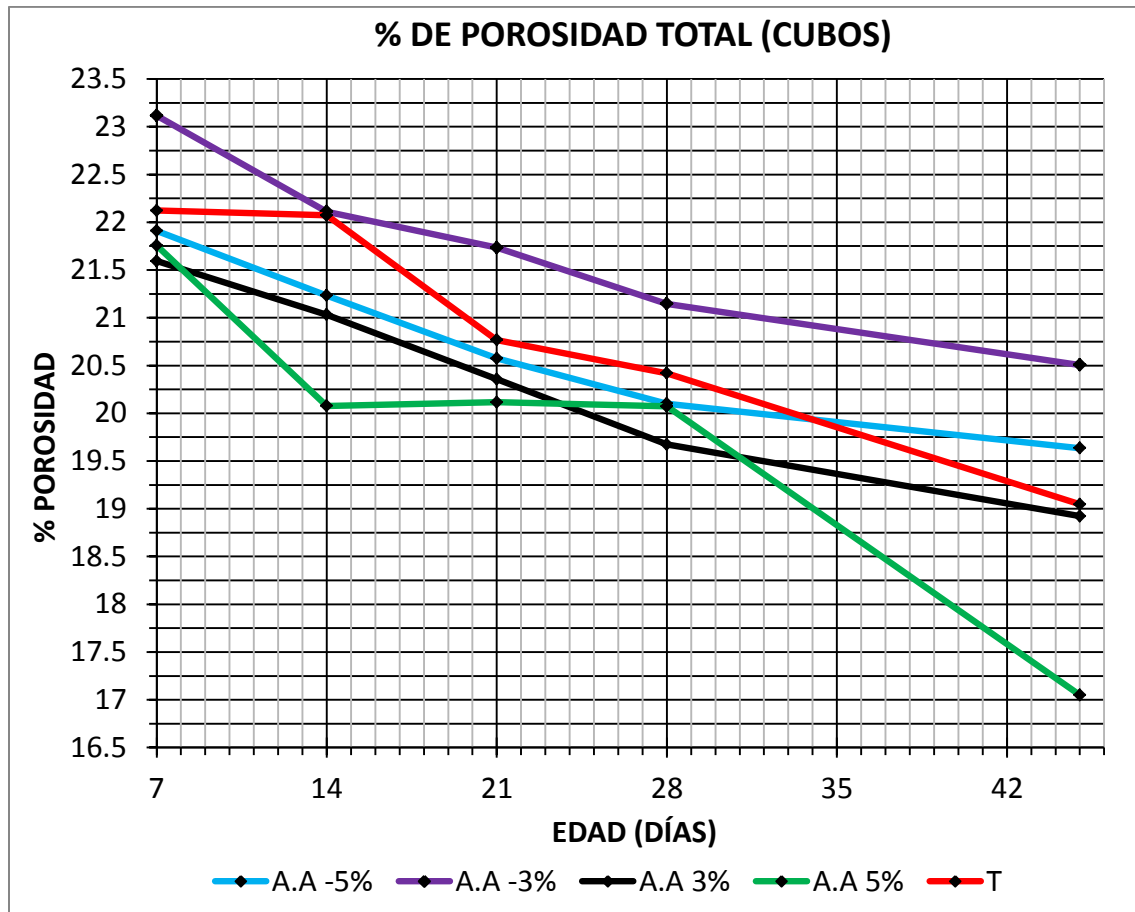


Ilustración 93. Porosidad total en cubos.

Porosidad total en cilindros.

Los resultados obtenidos en especímenes de cilindros de las 5 mezclas a diferentes edades (7, 14, 21, 28 y 45 días) indican que la mezcla de Almidón de arroz con adición del 5% (A.A 5%) obtuvo el mejor resultado a la edad de 45 días de 17.54% de porosidad y en segundo lugar el Almidón de arroz con adición del 3% (A.A +3%) con un resultado a la edad de 45 días de 18.35% de porosidad, mientras la mezcla de mayor porosidad fue el Almidón de arroz con sustitución del 3% (A.A -3%) con un resultado a la edad de 45 días de 21.80%. De acuerdo a los criterios de evaluación para % de porosidad de la armadura (RED DURAR (Durabilidad de la armadura), 2000) los resultados obtenidos a la edad de 7, 14, 21, 28 y 45 días en las 5 mezclas se encuentran en el criterio de durabilidad inadecuada, ya que los resultados son mayores a 15% de porosidad, lo cual indica que la durabilidad del mortero es inadecuada, ya que se permite la penetración de agentes agresivos al mortero. Como se muestra en la Ilustración 94.

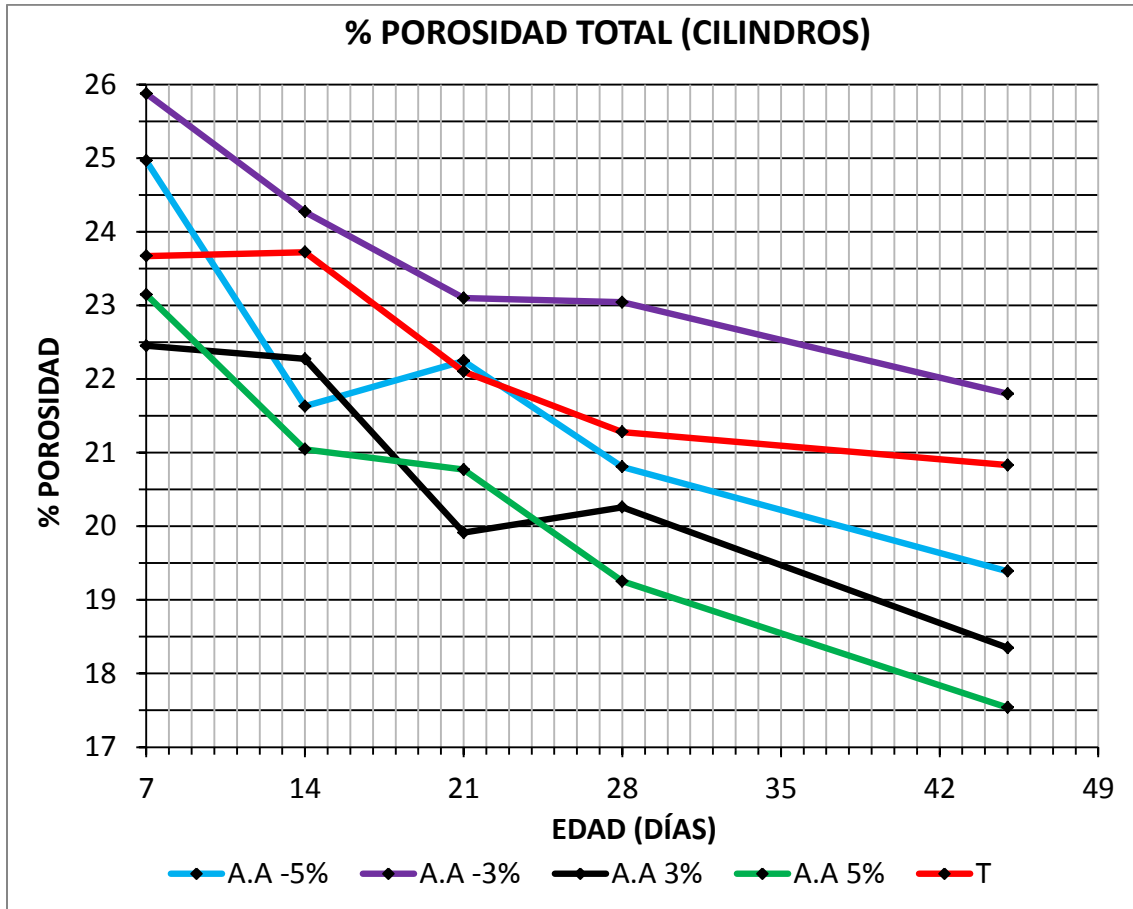


Ilustración 94. Porosidad total en cilindros.

4.4.1.4. % de Humedad de absorción.

% de Humedad de absorción en cubos.

Los resultados obtenidos en especímenes de cubos de las 5 mezclas, se observa que la mezcla de Almidón de arroz con adición del 5% (A.A 5%) obtuvo el mejor resultado a la edad de 45 días de 8.99% de humedad de absorción, después el Testigo (T) con resultado a la edad de 45 días de 10.07% de humedad de absorción y la mezcla de mayor % de humedad de absorción es el Almidón de arroz con sustitución del 3% (A.A -3%) con un resultado a la edad de 45 días de 11.09% como se presenta en la Ilustración 95. Los resultados mayores de % de humedad de absorción indican que los agregados o partículas del mortero tienen mayor presencia de humedad o cantidad de agua.

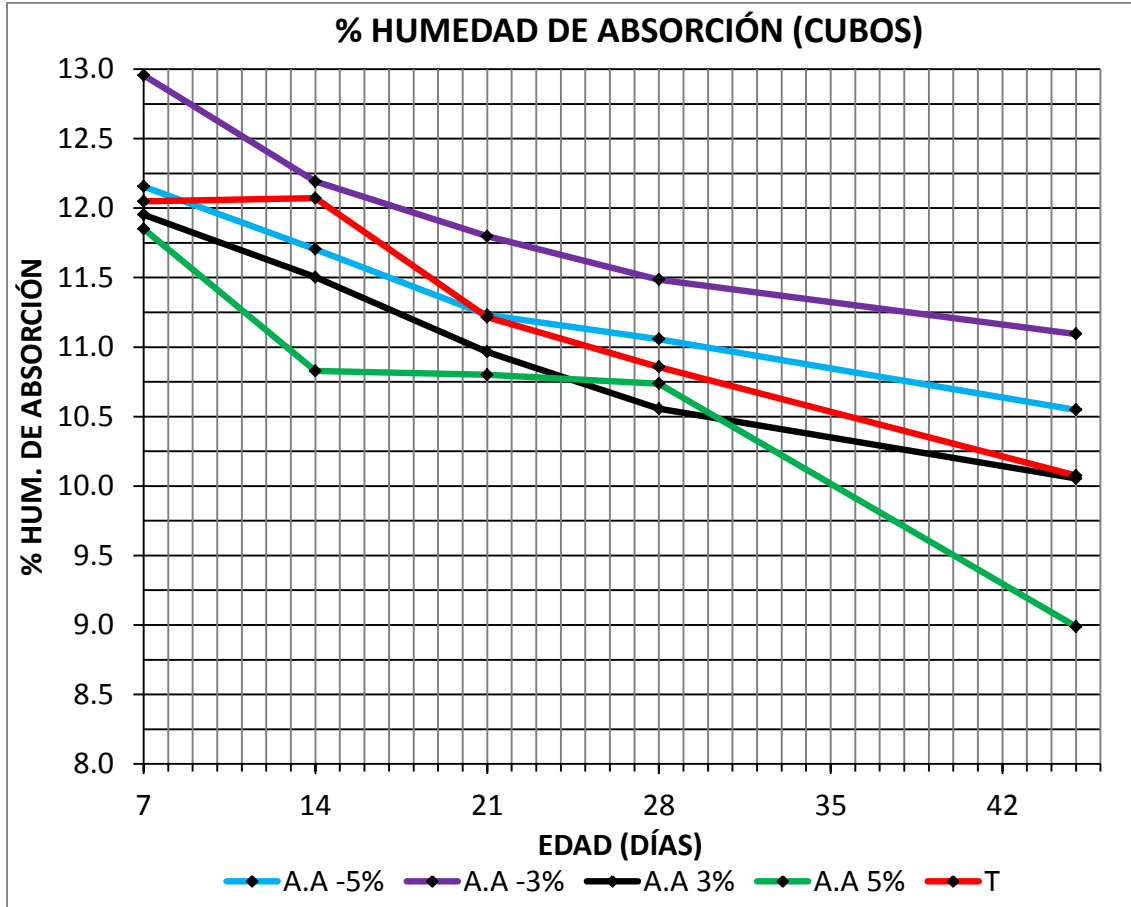


Ilustración 95. % de humedad de absorción en cubos.

% de Humedad de absorción en cilindros.

Los resultados obtenidos en especímenes de cilindros de las 5 mezclas a diferentes edades (7, 14, 21, 28 y 45 días), indican que la mezcla de Almidón de arroz con adición del 5% (A.A 5%) obtuvo el mejor resultado a la edad de 45 días de 9.22% de humedad de absorción, después el Almidón de arroz con adición del 3% (A.A +3%) con resultado a la edad de 45 días de 9.74% de humedad de absorción y la mezcla de mayor % de humedad de absorción es el Almidón de arroz con sustitución del 3% (A.A -3%) con un resultado a la edad de 45 días de 11.81% de acuerdo a la Ilustración 96. Los resultados mayores de % de humedad de absorción indican que los agregados o partículas del mortero tienen mayor presencia de humedad o cantidad de agua.

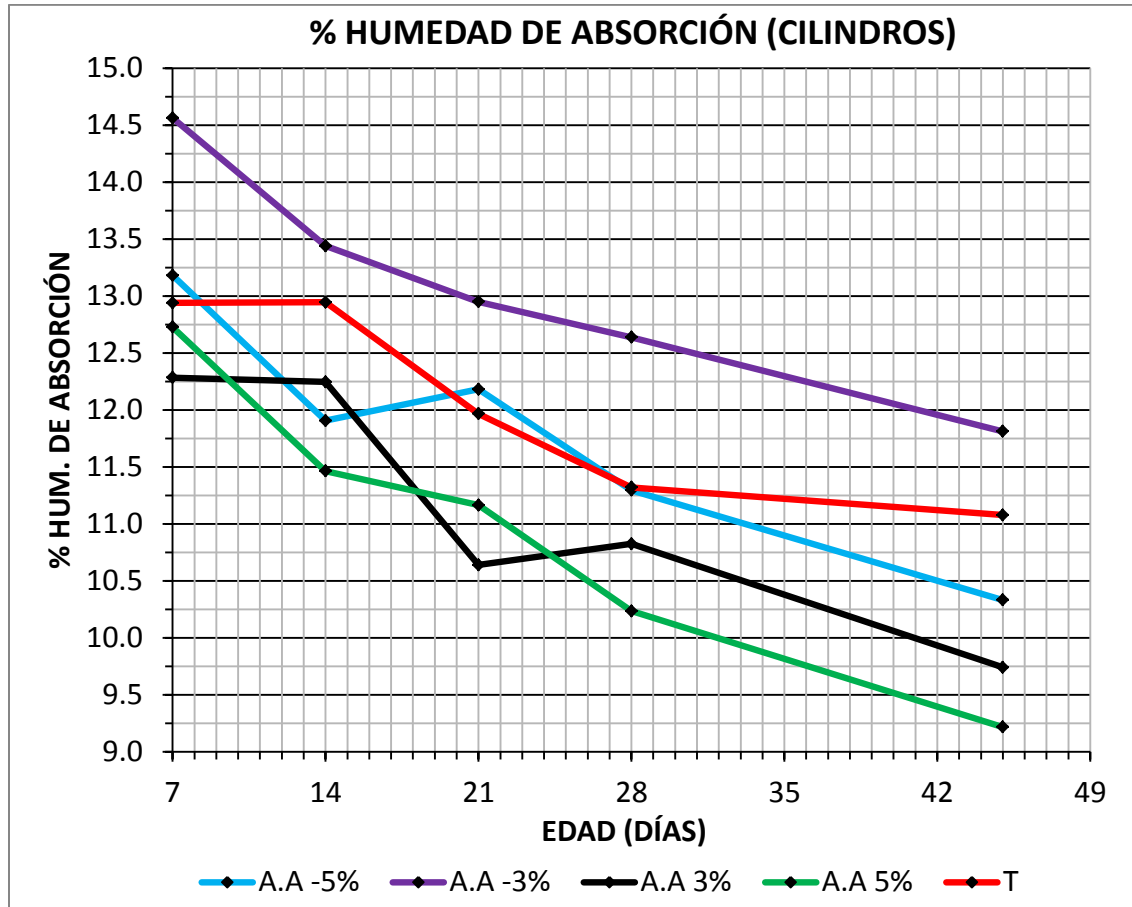


Ilustración 96. % de humedad de absorción en cilindros.

4.4.2. Pruebas destructivas.

4.4.2.1. Resistencia a compresión.

Los resultados obtenidos en especímenes de cubos de las 5 mezclas a diferentes edades (7, 14, 21, 28 y 45 días), demuestran que la mezcla de Almidón de arroz con adición del 5% (A.A 5%) obtuvo el mejor resultado a la edad de 45 días de 28.15 Mpa, en segundo lugar el Almidón de arroz con adición del 3% (A.A +3%) con un resultado a la edad de 45 días de 26.23 Mpa y la mezcla de menor resistencia a compresión es el Almidón de arroz con sustitución del 5% (A.A -5%) con un resultado a la edad de 45 días de 19.83 Mpa. De acuerdo a la Ilustración 97.

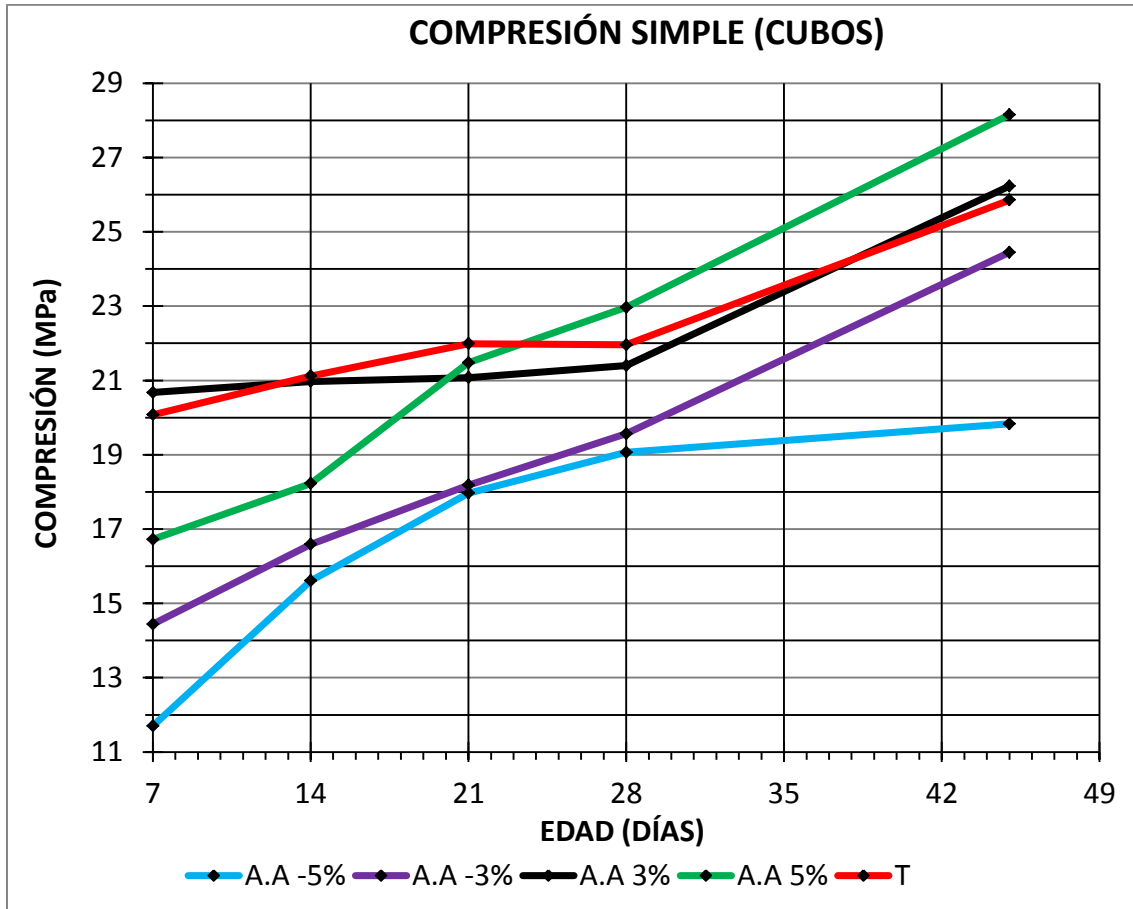


Ilustración 97. Compresión simple en cubos.

4.4.2.2. Resistencia a flexión estática (Módulo de ruptura).

Los resultados obtenidos en especímenes de prismas de las 5 mezclas a diferentes edades (7, 14, 21, 28 y 45 días), indican que la mezcla de Almidón de arroz con adición del 5% (A.A 5%) obtuvo el mejor resultado a la edad de 45 días de 6.50 Mpa, en segundo lugar el Testigo (T) con un resultado a la edad de 45 días de 6.25 Mpa y la mezcla de menor resistencia a flexión es el Almidón de arroz con sustitución del 3% (A.A -3%) con un resultado a la edad de 45 días de 5.73 Mpa. Como se presenta en la Ilustración 98.

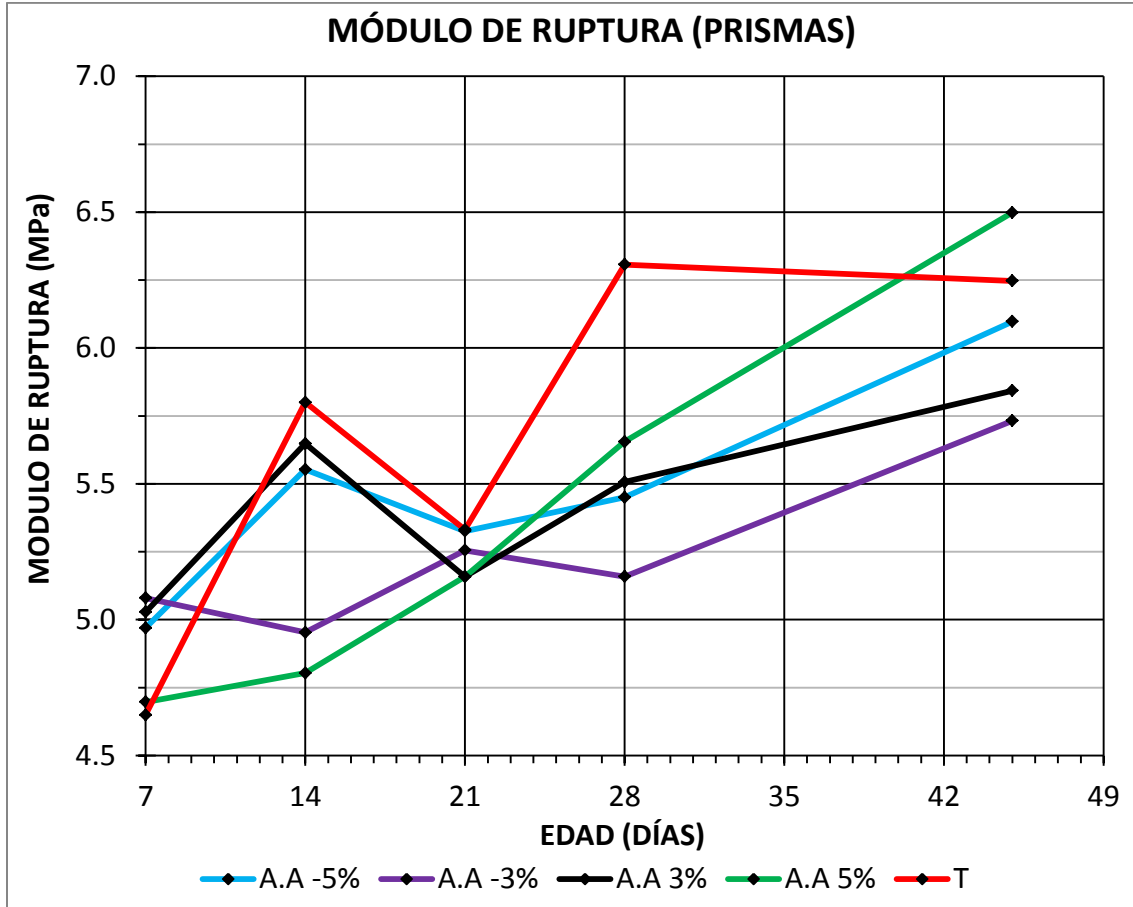


Ilustración 98. Módulo de ruptura en prismas.

4.4.2.3. Resistencia a la tensión directa.

Los resultados obtenidos en especímenes de briquetas de las 5 mezclas a diferentes edades (7, 14, 21, 28 y 45 días), la mezcla de Almidón de arroz con sustitución del 5% (A.A -5%) obtuvo el mejor resultado a la edad de 45 días de 2.37 Mpa, después el Almidón de arroz con adición del 5% (A.A +5%) con mejor resultado a la edad de 45 días de 2.35 Mpa y la mezcla de menor resistencia a la tensión directa es el Almidón de arroz con sustitución del 3% (A.A -3%) con un resultado a la edad de 45 días de 2.04 Mpa. Como se muestra en la Ilustración 99.

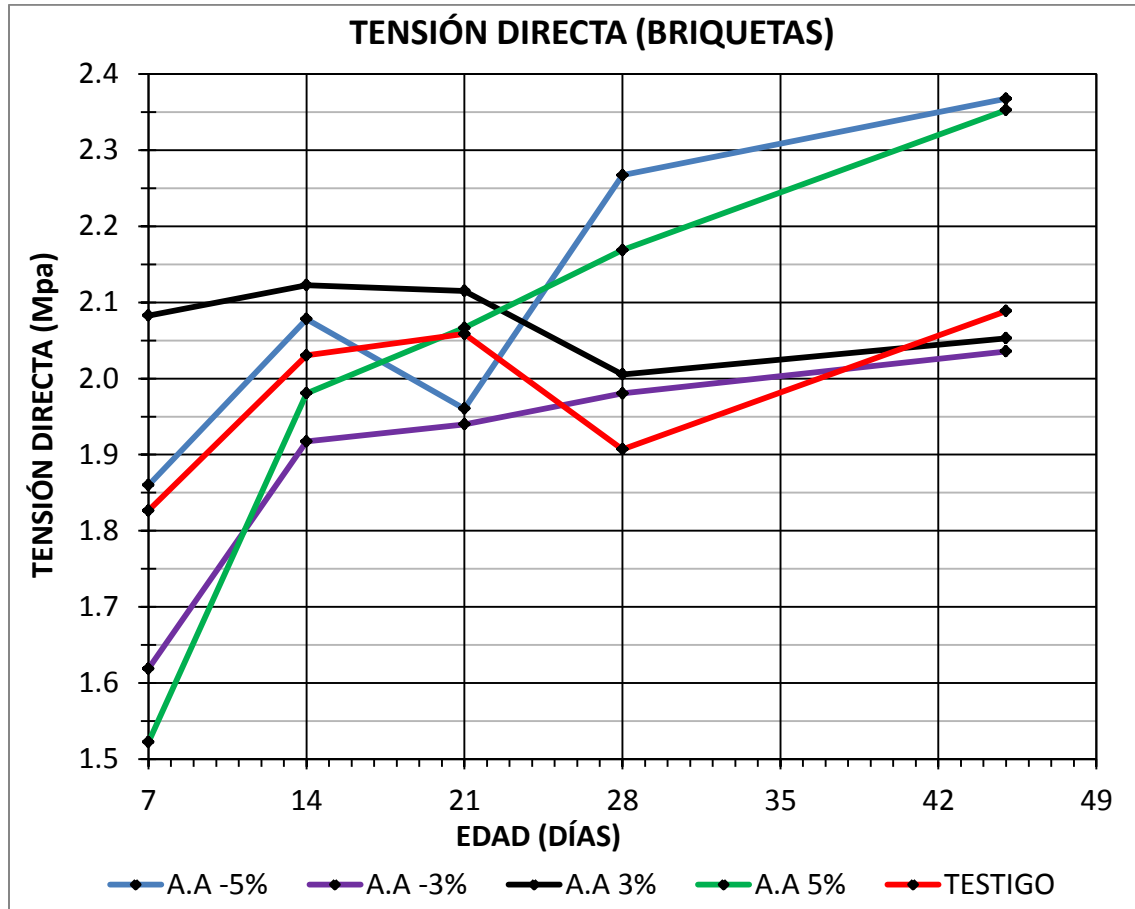


Ilustración 99. Tensión directa en briquetas.

4.4.2.4. Resistencia a la tensión indirecta.

Los resultados obtenidos en especímenes de cilindros de las 5 mezclas a diferentes edades (7, 14, 21, 28 y 45 días), indican que la mezcla de Testigo (T) obtuvo el mejor resultado a la edad de 45 días de 2.83 Mpa, después el Almidón de arroz con adición del 3% (A.A +3%) con mejor resultado a la edad de 45 días de 2.66 Mpa y la mezcla de menor resistencia a la tensión indirecta es el Almidón de arroz con sustitución del 5% (A.A -5%) con un resultado a la edad de 45 días de 1.91 Mpa. De acuerdo a la Ilustración 100.

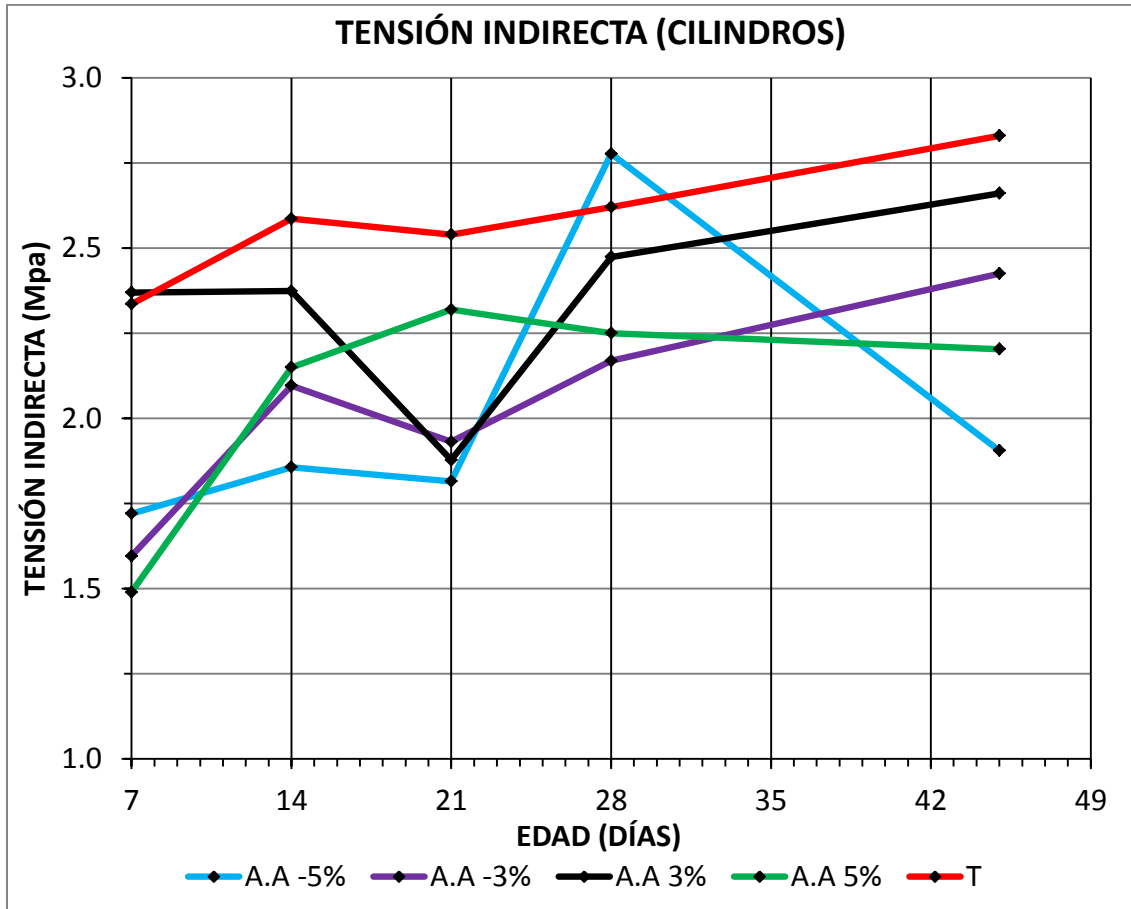


Ilustración 100. Tensión indirecta en cilindros.



5. CONCLUSIONES

Al realizar la caracterización del agregado fino del banco de material “Joyitas” ubicado en Morelia Michoacán, se obtuvieron resultados favorables que están dentro de los límites que marca la norma (NMX-C-111-ONNCCE, 2018) que se denomina “Industria de la Construcción-Agregados para Concreto Hidráulico-Especificaciones y Métodos de Ensayo”, por lo tanto se utilizó este agregado fino para la elaboración de especímenes de mortero convencional así como los demás especímenes de mortero con adición y sustitución de almidón de arroz. Al elaborar los especímenes de mortero de cada mezcla se observó que las mezclas de adición y sustitución del 3% y 5% de almidón de arroz absorbían más el agua ya que el almidón de arroz tiene esa propiedad de absorber agua o humedad (solo cuando está en estado fresco) por lo tanto esto hace que la fluidez del mortero sea menor en comparación a la mezcla de mortero convencional, pero aun así se optó por tomar la misma relación agua-cemento (A/C) de 0.68 esto con el fin de tener mezclas de mortero semejantes. También se observó que las mezclas de adición y sustitución del 3% y 5% de almidón de arroz en estado fresco el fraguado final fue más tardado que el mortero convencional, puede ser que una de las causas sea que estas mezclas en estado fresco al estar en cuartos húmedos como lo establece la norma (NMX-C-159-ONNCCE, 2016) el almidón de arroz reacciona con la humedad y esto hace que las partículas de la mezcla tenga menor calor o temperatura que el mortero convencional y por lo tanto su secado es más tardado. Es necesario decir que al momento de hacer las pruebas destructivas y no destructivas a cada edad establecida al retirar los especímenes del lugar de curado se notaba a simple vista que la superficie de los especímenes elaborados con adición y sustitución del 3% y 5% de almidón de arroz se secaban más rápido con la temperatura ambiente del laboratorio con respecto al mortero convencional.

Se tiene conocimiento que los morteros de alta calidad, alta resistencia y durabilidad se producen o se obtienen con agregados de alta calidad, así como estar diseñados con la menor relación agua-cemento (A/C) posible, sin dejar a lado el proceso de elaboración, transporte, colocación y terminado del mortero, sin embargo no es un proceso sencillo llevar a cabo cada etapa en la construcción cotidiana y al fallar una parte del proceso la calidad del mortero baja.

Al comparar las gráficas de velocidad de puso ultrasónico (VPU) el mortero de mejor calidad es el testigo (T) en espécimen de cubos y cilindros a la edad de 45 días con resultados de 4021.3 m/s y 4027 m/s respectivamente y después el Almidón de arroz con adición del 3% (A.A +3%) en espécimen de cubos y cilindros a la edad de 45 días con resultados de 3968m/s y 3825 m/s respectivamente. Los resultados mayores se deben a que se obtuvo mejor compacidad durante la elaboración de los especímenes de mortero, así como el tiempo de curado que permitió un mejor acomodo entre los diferentes agregados y la uniformidad de los agregados en los especímenes



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



Al comparar las gráficas de resistividad eléctrica se obtuvo que el mortero de menor riesgo de corrosión es el Testigo (T) en espécimen de cubos y cilindros a la edad de 45 días con resultados de 6.24 k Ω -cm y 5.23 k Ω -cm respectivamente y en segundo lugar el Almidón de arroz con adición del 5% (A.A 5%) en espécimen de cubos a la edad de 45 días con resultado de 5.82 k Ω -cm.

Al comparar las gráficas de porcentaje de porosidad total se obtuvo que el mortero con menor porcentaje de porosidad total en espécimen de cubos y cilindros a la edad de 45 días es el Almidón de arroz con adición del 5% (A.A 5%) con resultados de 17.05 % y 17.54 % respectivamente y en segundo lugar en espécimen de cubos y cilindros a la edad de 45 días es el Almidón de arroz con adición del 3% (A.A +3%) con resultados de 18.92 % y 18.35 % respectivamente.

Al comparar las gráficas de porcentaje de humedad de absorción se obtuvo que el mortero con menor porcentaje de humedad de absorción en espécimen de cubos y cilindros a la edad de 45 días es la mezcla de Almidón de arroz con adición del 5% (A.A 5%) con resultados de 8.99 % y 9.22 % respectivamente y en segundo lugar en espécimen de cubos y cilindros a la edad de 45 días es el Almidón de arroz con adición del 3% (A.A +3%) con resultados de 10.05 % y 9.74% respectivamente. El aumento de masa es debido al agua que se introduce en los poros, por lo tanto los resultados de menor % de humedad de absorción tienen menor cantidad de agua en el interior de su estructura.

Al comparar las gráficas de la prueba de resistencia a compresión simple se obtuvo que el mortero con mayor resistencia en espécimen de cubos a la edad de 45 días es el Almidón de arroz con adición del 5% (A.A 5%) con un resultado de 28.15 Mpa y en segundo lugar en espécimen de cubos a la edad de 45 días es el Almidón de arroz con adición del 3% (A.A +3%) con un resultado de 26.23.

En cuando a las gráficas de la prueba de flexión estática (módulo de ruptura) se obtuvo que el mortero con mayor resistencia a flexión en espécimen de prismas a la edad de 45 días es el Almidón de arroz con adición del 5% (A.A 5%) con un resultado de 6.50 Mpa y en segundo lugar en espécimen de prismas a la edad de 45 días es el Testigo (T) con 6.25 Mpa. Es de mencionar que esta prueba es la más delicada al usar la prensa hidráulica y los apoyos que se necesitan ya que si la carga impacta directamente al prisma este falla por impacto y por lo tanto no se tendría un resultado preciso, por esta razón llego a conclusión que la mejor mezcla basándome en los diferentes resultados de cada edad establecida, es el Testigo (T) y en segundo lugar el Almidón de arroz con adición del 5% (A.A 5%).

Al comparar las gráficas de tensión directa se obtuvo que el mortero con mayor resistencia a tensión directa en espécimen de briquetas a la edad de 45 días es el Almidón de arroz con sustitución del 5% (A.A -5%) con un resultado de 2.37 Mpa y en segundo



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



lugar en espécimen de briquetas a la edad de 45 días es el Almidón de arroz con adición del 5% (A.A +5%) con un resultado de 2.35 Mpa.

En las gráficas de tensión indirecta se obtuvo que el mortero con mayor resistencia a tensión indirecta en espécimen de cilindros a la edad de 45 días es el Testigo (T) con un resultado de 2.83 Mpa y en segundo lugar en espécimen de cilindros a la edad de 45 días es el Almidón de arroz con adición del 3% (A.A +3%) con un resultado de 2.66 Mpa.

En general el almidón de arroz desempeño buenos resultados en adición del 5% especialmente en tensión directa, % de porosidad y % de absorción de humedad.

Para saber si los resultados obtenidos son confiables o de continuar la investigación con este material es recomendable hacer mezclas de mortero convencional y Almidón de arroz con adición del 5% (A.A +5%) y Almidón de arroz con adición del 7% (A.A +7%) ya que existe la hipótesis que si aumenta el contenido de Almidón de arroz hay posibilidad de obtener mejores resultados, y que el Almidón de arroz a utilizar sea lo que pase la malla # 200 en la prueba de análisis granulométrico y también usar un aditivo Plastificante (fluidificante) para mejorar la manejabilidad de la mezcla y cumplir con la fluidez establecida en la norma (NMX-C-061-ONNCCE, 2015), así como hacer otras pruebas no destructivas que permitan saber con mas exactitud la durabilidad del mortero.



6. BIBLIOGRAFÍA

- AASHTO M152. (2016). *Standard Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement*. EE.UU: AASHTO.
- AASHTO T 129. (2014). *Standard Method of Test for Amount of Water Required for Normal Consistency of Hydraulic Cement Paste*. EE.UU: AASHTO.
- AASHTO T 133. (2012). *Standard Method of Test for Density of Hydraulic Cement*. EE.UU: AASHTO.
- AgroSíntesis. (2017). *La producción y consumo de arroz en México*. Obtenido de <https://www.agrosintesis.com/la-produccion-consumo-arroz-mexico/#.XQA61IVKjIU>
- Arguello Hernández, S. C. (2012). *Tesis: Análisis comparativo entre técnicas no destructivas y destructivas aplicadas a morteros con substituciones minerales de alta temperatura, cenizas orgánicas e inorgánicas, residuos industriales y fibras de cactus*. Saltillo: CINVESTAV.
- Arquitectura popular. (2017). *Edificios tradicionales. Daños mas frecuentes*. Obtenido de <http://www.arquitecturapopular.es/articulos/edificios-danos-frecuentes.htm>
- ASTM C109/C109M-16. (2016). *Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)*. EE.UU: ASTM.
- ASTM C117. (2017). *Standard Test Method for Materials Finer than 75- μ m (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing*. EE.UU: ASTM.
- ASTM C123. (2014). *Standard Test Method for Lightweight Particles in Aggregate*. EE.UU: ASTM.
- ASTM C128. (2015). *Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate*. EE.UU: ASTM.
- ASTM C136. (2014). *Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates*. EE.UU: ASTM.
- ASTM C142. (2017). *Standard Test Method for Clay Lumps and Friable Particles in Aggregates*. EE.UU: ASTM.
- ASTM C150/C150M. (2016). *Standard Specification for Portland Cement*. EE.UU: ASTM.
- ASTM C151. (2018). *Standard Test Method for Autoclave Expansion of Portland Cement*. EE.UU: ASTM.
- ASTM C187. (2016). *Standard Test Method for Normal Consistency of Hydraulic Cement*. EE.UU: ASTM.
- ASTM C188. (2017). *Density of hydraulic Cement*. EE.UU: ASTM.
- ASTM C191. (2018). *Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle*. EE.UU: ASTM.
- ASTM C192/C192M. (2018). *Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory*. EE.UU: ASTM.
- ASTM C230/C230M. (2014). *Standard Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement*. EE.UU: ASTM.
- ASTM C266. (2018). *Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic Cement Paste by Gillmore Needles*. EE.UU: ASTM.



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



- ASTM C270. (2014). *Standard Specification For Mortar for Unit Masonry*. EE.UU: ASTM.
- ASTM C29/C29M. (2017). *Standard Test Method for Bulk Density (Unit Weight) and Voids in Aggregate*. EE.UU: ASTM.
- ASTM C348. (2018). *Standard Test Method for Flexural Strength of Hydraulic - Cement Mortars*. EE.UU: ASTM.
- ASTM C40. (2019). *Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete*. EE.UU: ASTM.
- ASTM C494/C494M. (2017). *Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete*. EE.UU: ASTM.
- ASTM C496/C496M. (2017). *Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. EE.UU: ASTM.
- ASTM C511. (2013). *Standard Specification for Mixing Rooms, Moist Cabinets, Moist Rooms, and Water Storage Tanks Used in the Testing of Hydraulic Cements and Concretes*. EE.UU: ASTM.
- ASTM C597. (2016). *Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete*. EE.UU: ASTM.
- ASTM C618. (2019). *Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete*. EE.UU: ASTM.
- ASTM C702. (2018). *Standard practice for reducing samples of aggregate to testing size*. EE.UU: ASTM.
- ASTM D75. (2014). *Standard Practice for Sampling Aggregates*. EE.UU: ASTM.
- ASTM G57. (2012). *Standard Test Method for Field Measurement of Soil Resistivity Using the Wenner Four-Electrode Method*. EE.UU: ASTM.
- Atlas Agroalimentario. (2018). Obtenido de Atlas-Agroalimentario-2018.pdf
- b6 consultores. (Mayo de 2014). Obtenido de <http://www.b6consultores.com/?p=445>
- Calleja, J. (1977). "Las adiciones a los cementos" *Materiales de Construcción*. Obtenido de <http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc>
- CANACEM. (2014). Obtenido de <http://canacem.org.mx>
- Carvajal, A., Silva, C., Valiente, J., & Venegas, A. (2007). *Efectos de la carbonatacion acelerada en distintos tipos de cementos y hormigones*. Revista de la Construcción.
- Castaño Gomez, I. (2017). *Tesis: Diseño Estructural Participativo con Desechos Orgánicos, una Alternativa Panameña para Colombia*. Colombia.
- CEMEX. (2019). Obtenido de <https://www.cemexmexico.com/productos/cemento/cemex-extra>
- CMIC. (2016). *Construcción de pavimentos de concreto hidraulico*. México: Camara Mexicana de la Industria de la Construcción.
- Colín Velazquez, L. (2016). *Tesis: Matrices Cementicias Densificadas con Adiciones Orgánicas para Pavimentos Semi-Rígidos en Tlapujahua, México*. Morelia.
- Correa, R. S. (1984). *Diseño de Mezclas de Mortero*. Bogotá: Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia.
- Díaz González, N. (26 Febrero 2014). *Tesis: Inspección y Análisis por Condiciones de Durabilidad; Propuesta de Rehabilitación del Puente el Teolán, Localizado en el km*



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



47+900 en la Carretera Playa Azul-Manzanillo, Michoacán, México. Michoacán, México.

- Escalera Saldaña, S., & Franco Medina, J. A. (2017). *Concreto*. Guadalajara Jalisco.
- Estévez, A. (2005). *Procesamiento del arroz*. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile.
- FAOSTAT. (2016). *FAO*. Obtenido de <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QA>
- FAOSTAT. (2017). *FAO*. Obtenido de <http://www.fao.org/statistics/es/>
- Gouygou, M., Lafhaj, Z., & Soltani, F. (2009). *Assesment of porosity of mortar using ultrasonic Rayleigh waves*. NDT, E International.
- Haard. (1996). *Componentes químicos importantes de los granos de cereal*. Organización de las naciones unidas para la agricultura y nutrición (FAO).
- Hermilio González, J. H. (2013). *Tesis: Estudios Físicos de los Bancos de Materiales, Cerro Blanco de Ixtapaluca, para su uso como Agregados en la Producción de Concreto Hidráulico de Masa Normal*. México.
- IMCYC. (2016). *Construcción y Tecnología*. México: instituto mexicano del cemento y del concreto, A.C.
- Instituto del Concreto. (1997). *Manual Tecnología y Propiedades*. Colombia: Asociación Colombiana de productores de concreto.
- Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C. (2015). *Pruebas de Agregados*. México: IMCyC.
- International Cement Review. (2016). Obtenido de <https://www.cemnet.com/>
- Juliano, B. O. (1994). *Polysaccharides, proteins, and lipids of rice*. Minnesota, EE.UU: American Associated of Cereal Chemists.
- Kosmatka, S. (2004). *Capítulo 1*. México: IMCyC.
- Kosmatka, S., Kerkhoff, B., Panarese, W., & Tanesi, J. (2004). *Diseño y control de mezclas de concreto*. Chicago, EE.UU: Portland Cement Association, PCA.
- Martinez Molina, W., Navarro Sánchez, I. M., & Espinoza Mandujano, A. (2007). *Análisis de Materiales*. Fondo Editorial Morevallado.
- Martinez Molina, W.; Torres Acosta, A.A.; Alonso Guzman, E. M.; Chavez Garcia, H. L.; Hernandez Barrios, H.; Lara Gómez, C.; Martinez Alonso, W.; Pérez Quiroz, J. T.; Bedolla Arroyo, J. A.; Gonzalez Valdez, F. M. (Diciembre 2015). *Concreto reciclado: una revisión. ALCONPAT*, http://www.mda.cinvestav.mx/revista_alconpat.
- Mendoza Anaya, D., Brito Benitez, E., & Arenas Alatorre, J. (2004). *La Ciencia de Materiales y su Impacto a la Arqueología*. México: Academia Mexicana de Ciencia de Material.
- Navarro Sánchez, L. M., Martínez Molina, W., & Espinoza Mandujano, A. (2011). *Manual "Análisis de Materiales" de la facultad de ingeniería civil, UMSNH*. Morelia.
- Neville, A., & Brooks, J. (2010). *Concrete Technology*. England: ISBN 978-0-273-73219-8.
- NMX-C-030-ONNCE. (2004). *Industria de la Construcción-Agregados-Muestreo*. Organismo Nacional de Normalizacion y Certificacion de la Construcción y Edificación, S.C.



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



- NMX-C-057-ONNCCE. (2015). *Industria de la Construcción-Cementantes Hidráulicos-Determinación de la Consistencia Normal*. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C.
- NMX-C-059-ONNCCE. (2017). *Industria de la Construcción-Cementantes Hidráulicos-Determinación del Tiempo de Fraguado de Cementantes Hidráulicos (Método Vicat)*. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C.
- NMX-C-061-ONNCCE. (2015). *Industria de la Construcción-Cementantes Hidráulicos-Determinación de la Resistencia a la Compresión de Cementantes Hidráulicos*. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación S.C.
- NMX-C-071-ONNCCE. (2004). *Industria de la Construcción-Agregados-Determinación de Terrones de Arcilla y Partículas deleznable*s. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación S.C.
- NMX-C-072-ONNCCE. (2006). *Industria de la Construcción-Agregados-Determinación de Partículas Ligeras*. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación S.C.
- NMX-C-073-ONNCCE. (2014). *Industria de la Construcción-Agregados-Masa Volumétrica-Método de prueba*. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación S.C.
- NMX-C-077-ONNCCE. (1997). *Industria de la Construcción - Agregados para Concreto - Análisis Granulométrico - Método de Prueba*. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación S.C.
- NMX-C-083-ONNCCE. (2014). *Industria de la Construcción-Concreto-Determinación de la Resistencia a la Compresión de Especímenes-Método de Ensayo*. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación S.C.
- NMX-C-084-ONNCCE. (2018). *Industria de la Construcción-Agregados para concreto-Partículas más finas que la criba 0,075 mm (No. 200) por medio de lavado-Método de ensayo*. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación S.C.
- NMX-C-088-ONNCCE. (1997). *Industria de la Construcción-Agregados-Determinación de Impurezas Orgánicas en el Agregado Fino*. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación S.C.
- NMX-C-111-ONNCCE. (2018). *Industria de la Construcción-Agregados para Concreto Hidráulico-Especificaciones y Métodos de Ensayo*. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C.
- NMX-C-122-ONNCCE. (2018). *Industria de la Construcción -Agua para Concreto-Especificaciones*. México: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación S.C.
- NMX-C-148-ONNCCE. (2010). *Industria de la Construcción - Cementos y Concretos Hidráulicos - Gabinetes Cuartos Húmedos y Tanques de Almacenamiento-Condiciones de Diseño y Operación*. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación S.C.



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



- NMX-C-152-ONNCCE. (2015). *Industria de la Construcción-Cementantes Hidráulicos-Determinación de la Densidad*. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C.
- NMX-C-159-ONNCCE. (2016). *Industria de la Construcción-Concreto-Elaboración y Curado de Especímenes de Ensayo*. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación S.C.
- NMX-C-163-ONNCCE. (2018). *Industria de la Construcción-Concreto- Determinación de la Resistencia a la Tensión por Compresión Diametral de Cilindros de Concreto*. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación S.C.
- NMX-C-165-ONNCCE. (2014). *Industria de la Construcción-Agregados-Determinación de la Densidad Relativa y Absorción de Agua del Agregado Fino-Método de Ensayo*. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación S.C.
- NMX-C-170-ONNCCE. (1997). *Industria de la Construcción-Agregados-Reducción de las Muestras de Agregados Obtenidas en el Campo al Tamaño Requerido para las Pruebas*. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C.
- NMX-C-275-ONNCCE. (2004). *Industria de la Construcción - Concreto Determinación de la Velocidad de Pulso A Través del Concreto- Método de Ultrasonido*. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación S.C.
- NMX-C-303-ONNCCE. (2010). *Industria de la Construcción-Concreto Hidráulico-Determinación de la Resistencia a la Flexión Usando una Viga Simple con Carga en el Centro del Claro*. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación S.C.
- NMX-C-414-ONNCCE. (2017). *Industria de la construcción-Cementos hidrahulicos-Especificaciones y metodos de prueba*. México: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C.
- NMX-C-514-ONNCCE. (2016). *Industria de la Construcción -Resistividad Eléctrica del Concreto Hidráulico-Especificaciones y Métodos de Ensayo*. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación S.C.
- NRMCA. (2014). *Adiciones al Cemento*. Obtenido de www.nrmca.org
- nutritienda*. (2010). Obtenido de <https://blog.nutritienda.com/amilopectina/>
- Olmos, S. (2006). *acpaarrozcorrientes*. Obtenido de <http://www.acpaarrozcorrientes.org.ar/academico/Apunte-MORFOLOGIA.pdf>
- Pearl, R., & Harvey, J. (2010). *Geología para ingenieros geotécnicos*.
- Pérez, A. (2012). *Fical Forum Ibérico de la cal*. Obtenido de http://www.fical.org/index.php?option=com_content&view=article&id=57:morter ospastas-y-lechadas&catid=42:clasificacion&Itemid=145
- QuimeNet.com*. (2011). Obtenido de <https://www.quiminet.com/articulos/usos-y-aplicaciones-de-la-fecula-de-maiz-2653824.htm>
- RED DURAR (Durabilidad de la armadura). (2000). *Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión en Estructuras de Hormigón Armado*. CYTED.



“Solicitaciones físico-mecánicas de mortero base cemento modificado con almidón de arroz”



Ricardo, R. M. (2017). *Ensayos a los Materiales de Construcción*.

SIAP. (2016). Obtenido de <https://www.gob.mx/siap>

The American Society of Nondestructive Testing. (2016). Obtenido de <https://www.asnt.org/>