



# UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO

---

## **FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**

COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MORTEROS DE ALBAÑILERÍA PARA  
LA CONSTRUCCIÓN

TESIS PROFESIONAL

PARA OBTENER EL TITULO DE:

**INGENIERO CIVIL**

PRESENTA:

AMAYRANI CITLALY PEDRAZA PEREZ

ASESOR:

MAESTRO EN ADMINISTRACIÓN E INGENIERO CIVIL  
WILFRIDO MARTÍNEZ MOLINA

COASESOR:

ING. CIPRIANO BERNABE REYES

MORELIA, MICH, JUNIO 2014





## RESUMEN

El mortero es sin duda parte esencial de una construcción puesto que se integra en porcentaje importante de la infraestructura, esto debido a su versatilidad. En México existe una gran demanda sobre este material, es por ello que el tema despierta gran interés en el sector de la construcción. Esta investigación busca encontrar las características en las que se desempeña mejor cada una de las cuatro marcas involucradas en el estudio, realizando la comparación entre las propiedades físicas y mecánicas; tales marcas son: Moctezuma, Apasco, Cruz azul y Tolteca, ya que son las que cuentan con mayor prestigio en el país. Para la elaboración del mortero se realizaron las pruebas de fluidez donde se determinó la relación agua-cemento de 1.2, así como el análisis del agua utilizada, el proporcionamiento que se utilizó fue el mismo para todos. El estudio se desarrolló ensayando en cubos, prismas, briquetas y losas de revestimiento, practicándoles las pruebas de compresión, flexión, tensión y adherencia respectivamente a la edad de 3,7,14,28,45,60 y 90 días, realizándose cinco ensayos a cada edad para poder promediar y obtener resultados más precisos, también se realizaron pruebas no destructivas como gravedad específica, densidad, resistividad eléctrica y velocidad de pulso ultrasónico a los ensayos cúbicos y prismáticos, esto a la edad de 28 días. Al término de la experimentación se obtuvieron las comparaciones necesarias para conocer las propiedades físico-mecánicas de los morteros en estudio, los resultados obtenidos de los ensayos muestran que el mortero Cruz azul es el que alcanza la resistencias más altas, el Tolteca la mejor adherencia, el Apasco mostro resultados satisfactorios en las primeras edades en la prueba de compresión y el Moctezuma fue el que obtuvo los resultados más altos en la resistividad, lo que lo hace resistente a la corrosión. En general los morteros resultaron de buena calidad y con poco riesgo a la corrosión, por lo que los hace una buena opción para su empleo en todo tipo de obras desde las más pequeñas, hasta las de mayor magnitud.

Palabras clave: Mortero, Pruebas Destructivas y Pruebas no destructivas.



## ABSTRACT

The mortar is definitely an essential part of construction since it integrates significant percentage of the infrastructure, this due to its versatility. There is high demand for this material in Mexico, which is why the issue arouses great interest in the construction sector. This investigation seeks to find the features you perform better each of the four brands involved in the study, making the comparison between the physical and mechanical properties; such brands are: Moctezuma, Apasco, Cruz Azul and Tolteca, as are those with the most prestigious in the country. To prepare the mortar fluency tests where the water-cement ratio of 1.2 was determined were performed, and the analysis of the water used, the proportioning that was used was the same for everyone. The study was developed by testing cubes, prisms, briquettes and slabs of carpet, you practicing them compression tests, bending, tension and adhesion respectively at age 3,7,14,28,45,60 and 90 days, five assays performed at each age and averaged to obtain more accurate results, nondestructive tests as specific gravity, density, electrical resistivity and ultrasonic pulse velocity cubic and prismatic assays were also performed this at the age of 28 days. On completion of the experimentation necessary to know the physical-mechanical properties mortars study comparisons were obtained, the results of the assays show that Cruz Azul is the mortar that reaches the higher strengths, the Tolteca best adhesion, the Apasco showed satisfactory results in the first ages in the compression test and Moctezuma was the one who got the highest scores in the resistivity, which makes it resistant to corrosion. Overall mortars were of good quality and with little risk to corrosion, making them a good choice for use in all types of works from the smallest to the largest magnitude.

Keywords: Mortar Testing Destructive and non-destructive testing.



## DEDICATORIA

A mi familia, mis padres y hermanas los quiero mucho, son el motor que me impulsa a seguir adelante.

En especial a mi madre Yolanda Pérez Sánchez por darme su cariño, apoyo y dedicación a lo largo de mi trayecto recorrido, por enseñarme a ser una mujer valiente, segura y capaz. Mi ejemplo a seguir mujer guerrera que nunca se ha dejado vencer, siempre serás mi guía, mi amiga y mi confidente de no ser por ti, nunca habría logrado ser quien soy ahora.



## AGRADECIMIENTOS

Primeramente a dios por permitirme llegar a este momento y brindarme la oportunidad de cumplir un sueño más en mi vida.

A mi familia, a mi padre **José Luis Pedraza López** por compartir su sabiduría, enseñanzas y tiempo , a mi madre por brindarme el apoyo para poder realizar todos mis sueños y nunca cortarme las alas, por creer en mí y darme la confianza que necesitaba a mis queridas hermanas **Ambar y Yosselin** por darme su compañía, cariño y alentarme a ser cada día mejor y darme la oportunidad de ser su ejemplo a seguir, a mi tía **Rosa María Pérez Sánchez** por siempre mostrar preocupación hacia a mi persona brindarme su apoyo y tiempo incondicional, y sobre todo gracias por el amor que me dan.

A mi asesor **M.A. Wilfrido Martínez Molina** por su apoyo invaluable y la confianza brindada quien compartió sus conocimientos y valioso tiempo para la realización de éste proyecto.

A mi coasesor el **Ing. Cipriano Bernabé Reyes** por sumarse a este trabajo y brindarme su amistad, conocimiento y tiempo.

A la UMSNH, a la Facultad de Ingeniería civil, al Laboratorio de materiales por prestarme sus instalaciones y brindarme el apoyo para la realización de este trabajo, a la gente que participo directa e indirectamente y a el Laboratorio de Sanitaria y Ambiental por prestarme sus instalaciones y brindarme el apoyo necesario para la investigación.

A mis maestros todos aquellos que me compartieron sus conocimientos y aportaron un granito de arena para poder lograr esta meta en especial a los ingenieros **Joaquín Contreras López, Luis Alfonso Merlo Martínez y Tarsicio Auifred Hurtado Solórzano.**

A mis amigos en especial a **Dhara Mansilla** gracias amiga por estar siempre conmigo y compartir este y demás sueños conmigo, **Patricia Arreola** gracias por brindarme su apoyo y su cariño, **Sandra López** por dedicarme su tiempo, brindarme su apoyo y siempre apoyarme, a **Luis Chávez , Omar Lucas, Fernando Manzo, Antonio Torres, Rogelio Méndez, Eduardo Silva, Víctor Melgarejo, Danira Forian, Marcos Cortes, Omar Quijano Y Omar** por darme momentos de felicidad, compañía y brindarme su apoyo incondicional cada vez que fue necesario.



## OBJETIVO

El objetivo principal de esta investigación es el de dar a conocer las propiedades tanto físicas como mecánicas de los cementos de albañilería comúnmente llamados morteros, los cuales forman parte esencial para cualquier construcción y sustituyen a otros materiales gracias a sus bajos costos.

Lo que se pretende hacer es una comparación física- mecánica entre cuatro de las marcas más comerciales de cemento en la región para obtener la mayor información posible, practicándole diferentes pruebas a las cuales son sometidos en el día a día a la hora de su aplicación.

Con la información obtenida se adquirirá un amplio criterio para determinar las ventajas y desventajas de cada uno en las diferentes áreas de su aplicación, y de esta forma tener un mayor control de calidad en las diferentes construcciones que se realizan en el Estado.



INDICE

RESUMEN ..... II

ABSTRACT ..... III

DEDICATORIA ..... IV

AGRADECIMIENTOS..... V

OBJETIVO ..... VI

1 INTRODUCCIÓN ..... 1

2.- MORTEROS..... 3

    2.1 Definición de mortero. .... 3

    2.2.- Antecedentes históricos de los morteros ..... 3

        Ilustración 1. Proceso general del proceso de fabricación del cemento. .... 11

    2.3.- Clasificación de los morteros ..... 11

    2.4.- Tipos de morteros según su aplicación. .... 13

    2.5.- Morteros según su diseño..... 13

    2.6.- Morteros según su método de fabricación..... 13

    2.6.- Usos de los morteros. .... 15

    2.8.- Tipos de mezclado..... 15

2.9.- Morteros en estudio..... 16

    2.9.1.- Cemento mortero Cruz Azul..... 16

        Ilustración 2. Mortero cruz azul presentación en saco de 50 kg. (Cruzazul, 2014)..... 16

    2.9.2.- Cemento de albañilería Tolteca ..... 18

        Ilustración 3. Mortero Tolteca presentación en saco de 50 kg (Cemex México, 2014). .... 18

    2.9.3.- Cemento de albañilería Apasco. .... 19

        Ilustración 4. Mortero Apasco en presentación de saco de 50 kilos (arquired, 2014..... 19

    2.9.4.- Cemento de albañilería Moctezuma..... 21

        Ilustración 5. Mortero Moctezuma en presentación de 50 kg. (Cmoctezuma, 2014). .... 21



COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MORTEROS DE ALBAÑILERÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN

3.- MATERIAL PÉTREO ..... 22

    3.1 Propiedades físicas de los agregados ..... 22

    3.2.- Influencia de los agregados pétreos en las propiedades del concreto fresco ..... 24

    3.3.- Influencia de los agregados pétreos en las propiedades del concreto endurecido. .... 25

4.- AGUA ..... 27

    4.2.- Agua de curado. .... 27

    4.3.- Aplicación del agua. .... 27

    4.4.- Clasificación por acción agresiva de las aguas. .... 28

5.- PRUEBAS EN EL MORTERO ..... 30

    5.1.- Pruebas en el mortero endurecido ..... 30

        5.1.1- Definición de pruebas no destructivas..... 30

        5.1.2.- Prueba de resistividad eléctrica ..... 30

        5.1.3.- Prueba de velocidad de pulso ultrasónico. .... 30

        5.1.4.-Instrumento de prueba de velocidad de pulso..... 31

        Ilustración 6. Diagrama esquemático del circuito de prueba de velocidad de pulso (Malhotra and Carino, 2004)..... 32

        5.1.5.- Densidad..... 32

        5.1.6.- Gravedad específica. .... 33

        5.1.7- Absorción del agua..... 33

    5.2.- Definición de pruebas destructivas..... 34

        5.2.1.- Determinación de la resistencia a compresión simple. .... 34

        5.2.2.- Determinación de la resistencia a flexión ..... 35

        Ilustración 7. Aparato para la prueba de resistencia a la flexión con carga en los tercios del claro. .... 36

        5.2.3.- Adherencia. .... 37

    5.3.- Pruebas en pasta de cemento..... 38

        5.3.1.- Consistencia normal..... 39

        5.3.2 Tiempos de fraguado inicial y final..... 39

        5.3.3.- Fluidez ..... 39

6.- DESARROLLO EXPERIMENTAL ..... 40

    6.1.- Caracterización de la arena ..... 40



COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MORTEROS DE ALBAÑILERÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN

Ilustración 8. Arena del rio Huajumbaro que fue la arena que se utilizó para la elaboración de los especímenes..... 40

Ilustración 9. Secado al sol de la arena y cribado de la arena que se requería el material que pasa la malla 16 y se retiene en la 30..... 41

6.1.1.- Cuarteo en arena..... 41

6.1.2.- Humedad superficial y humedad de absorción en arenas..... 42

Ilustración 11. Secado artificial de la muestra representativa de arena..... 44

6.1.3.- Peso volumétrico seco y suelto de una arena (PVSS). ..... 45

6.1.4.- Peso volumétrico seco y varillado (PVSV). ..... 47

6.1.5. Colorimetría en arenas..... 49

Ilustración 14. Realización de la sosa cáustica y llenado del recipiente. .... 50

Ilustración 15. Comparación del color del líquido de la botella con el vidrio de color normal. .... 50

6.1.6.- Análisis granulométrico y módulo de finura. .... 51

Ilustración 16. Material que se iba reteniendo en las mallas mencionadas con anterioridad. .... 52

Resultados. .... 52

6.1.7 Densidad en arenas..... 53

6.2.- Agua ..... 55

6.2.1 Muestreo..... 55

Ilustración 18. Muestreo y etiquetado del agua en estudio. .... 55

Ilustración 19. Potenciómetro portatil..... 56

Ilustración 20. Conductímetro..... 57

6.2.4.- Determinación de los Cloruros..... 57

Ilustración 21. Cambio de color de la muestra de amarillo a naranja rojizo..... 58

6.2.5.- Dureza cálcica..... 58

Ilustración 22. Titulación de la disolución cambio de color rosa a purpura..... 59

6.2.6.-Dureza total..... 59

Ilustración 23. Titulación de la disolución cambio de color rojizo a azul ..... 60

6.2.7.-DQO..... 60

Ilustración 24.Colocacion de la solución concentrada de sulfato de plata ..... 61

Ilustración 25. Reactor de DQO..... 62

Ilustración 26. Tubos de la reacción enfriandose a temperatura ambiente..... 62



COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MORTEROS DE ALBAÑILERÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN

6.2.8.- Solidos suspendidos totales Y solidos disueltos totales..... 63

    Ilustracion 27. Se pesa la muestra hasta adquirir un peso constante. .... 63

    Ilustacion 28. Los crisoles se introducen a la mufla a una temperatura de 550°C ± 50°C. .... 64

    Ilustracion 29. El desecador donde se dejan enfriar la muestra a temperatura ambiente. .... 65

    Ilustracion 30 . Filtración de la muestra ..... 66

6.3.- Elaboración de la mezcla..... 70

6.3.1 Fluidez en morteros..... 70

    Ilustración 31. Mesa de fluidez con ensaye de bronce y calibrador, los instrumentos para realizar la prueba de fluidez..... 71

    Ilustracion 32. La mesa de fluidez se eleva y se deja caer 1.3 cm, 15 veces durante 15 segundos. .... 72

    Ilustración 33. Realización de las mediciones en la mesa de fluidez. .... 72

6.3.2 Consistencia normal del cemento..... 73

    Ilustración 34. Preparación de la mezcla y medición de la consistencia..... 75

6.3.3 Determinación de tiempos de fraguado. .... 76

    Ilustración 35. Tiempo inicial y final del fraguado de los morteros. .... 77

    Ilustracion 36. Mezclado mecánicamente. .... 78

6.4.- Elaboración de cubos. .... 78

    Ilustración 37. Moldes de acero cavidades cubicas de 50 mm. .... 79

    Ilustación 38. Procedimiento del apisonamiento del molde. .... 79

    Ilustracion 39 . Llenado de los moldes cúbicos en cuatro capas..... 80

    Ilustración 40. Descimbrado de los especímenes transcurridas las 24 horas..... 80

    Ilustración 41. Curado de los especímenes en recipientes de 19 litros. .... 81

6.5.- Elaboración de prismas. .... 81

    Ilustración 42. Molde de acero del prisma.   Ilustración 43. Dirección del apisonamiento ..... 82

    Ilustración 44. Enrazado de los moldes con la espátula plana..... 82

6.6.- Elaboración de briquetas. .... 83

    Ilustración 45. Molde utilizado para la realizacion de las briquetas..... 83

    Ilustracion 46. Enrazamiento y elaboracion de las briquetas. .... 83

6.7. Losas de concreto ..... 84

6.7.1. Revestimiento de la losa ..... 84



COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MORTEROS DE ALBAÑILERÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN

Ilustración 47. Revestimiento de la losa de concreto. .... 84

Ilustración 48. Revestimiento de la losa con las cuatro marcas del mortero en investigación. .... 85

6.8 Pruebas no destructivas ..... 85

6.8.1 Gravedad específica o peso específico..... 85

Ilustración 49. Realización de la prueba de Gravedad específica con la canastilla ya adaptada..... 86

6.8.2 Densidad..... 87

Ilustración 50. Desalojo del agua después de colocar el espécimen dentro del picnómetro..... 87

6.8.3.- Absorción ..... 88

6.8.4.- Velocidad de pulso ultrasónico. .... 89

Ilustración 51. Equipo de velocidad de pulso ultrasónico, modelo 58-E0049 marca ..... 90

Ilustración 52. Se muestra el procedimiento para la correcta ubicación de los transductores en los cubos, así como el aparato de ultrasonido empleado para la realización de esta prueba. .... 91

6.8.5.- Resistividad Eléctrica..... 92

Ilustración 53. Realización de la prueba de resistencia eléctrica en cubos. .... 92

Ilustración 54. Colocación del prisma para la realización del ensayo ..... 93

6.9.1.- Resistencia a la compresión..... 94

Ilustracion 55. Máquina universal Tinius Olsen utilizada para las pruebas de compresión..... 95

Ilustracion 56. Aplicación de carga constante a los espécimenes cubicos en la maquina universal Tinius Olsen a la edades antes mencionadas. .... 95

6.9.2.- Resistencia a la flexión. .... 96

Ilustración 57. Identificación del área donde se le aplicara la carga al espécimen prismático. .... 96

Ilustración 58. Aplicación de la carga en la maquina universal Tinius Olsen en el punto medio del prisma. .... 97

6.9.3.- Resistencia a la tensión en briquetas..... 98

Ilustración 59. Falla del espécimen por medio de la aplicación constante de municiones. .... 98

Ilustracion 60. Despues de la falla se toma el peso de las municiones que soporto el especimenpara registrar el resultado. .... 99

Ilustracion 61. Maquina de prueba paa tension em morteros Michaelis. .... 99

6.9.4.- Adherencia. .... 100

Ilustración 62. Perforación de las losas para la prueba de adherencia..... 101

Ilustración 63. Colocación de los dollys en el revestimiento con la ayuda de la resina epóxica ..... 101



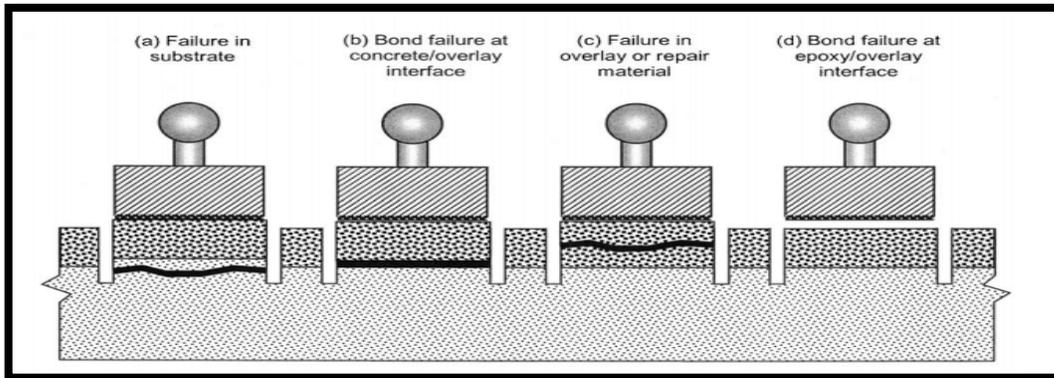
COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MORTEROS DE ALBAÑILERÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN

Ilustración 64. Resina epóxica Sikadur®-31 Hi-Mod Gel en presentación unidad (componentes A + B) de 1 kg., color gris. .... 102

Ilustración 65. Losa en óptimas condiciones para realizar la prueba de la adherencia..... 102

Ilustración 66. Instrumento de medición Pull Off ..... 103

Ilustración 67. Pernos con cabeza de pelota al cual se le introduce el Pull Off..... 103



..... 104

Ilustración 68. Tipos de falla que se obtienen en la prueba de la adherencia. (ASTM C 1583, 2004). .... 104

Ilustracion 69. Falla 1 en el sustrato..... 105

Ilustracion 70. Falla 3 En la línea de unión entre el sustrato y el material de reparación o revestimiento. .... 105

7.- RESULTADOS ..... 107

8.- CONCLUSIÓN ..... 122

9.- BIBLIOGRAFIA..... 124

**ÍNDICE DE ILUSTRACIONES**

Ilustración 1. Proceso general del proceso de fabricación del cemento.....11

Ilustración 2. Mortero cruz azul presentación en saco de 50 kg. (Cruzazul, 2014).....16

Ilustración 3. Mortero Tolteca presentación en saco de 50 kg (Cemex México, 2014).....18

Ilustración 4. Mortero Apasco en presentación de saco de 50 kilos (arquired, 2014).....19

Ilustración 5. Mortero Moctezuma en presentación de 50 kg. (Cmoctezuma, 2014).....21

Ilustración 6. Diagrama esquemático del circuito de prueba de velocidad de pulso (Malhotra and Carino, 2004).....32



COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MORTEROS DE ALBAÑILERÍA  
PARA LA CONSTRUCCIÓN

Ilustración 7. Aparato para la prueba de resistencia a la flexión con carga en los tercios del claro....	36
Ilustración 8. Arena del rio Huajumbaro que fue la arena que se utilizó para la elaboración de los especímenes.....	40
Ilustración 9. Secado al sol de la arena y cribado de la arena que se requería el material que pasa la malla 16 y se retiene en la 30.....	41
Ilustración 10. Realización del cuarteo en arena.....	40
Ilustración 11. Secado artificial de la muestra representativa de arena.....	44
Ilustración 12. Llenado y enrasado del material inerte.....	46
Ilustración 13. Llenado y enrasado del material inerte.....	48
Ilustración 14. Realización de la sosa cáustica y llenado del recipiente.....	50
Ilustración 15. Comparación del color del líquido de la botella con el vidrio de color norma.....	50
Ilustración 16. Material que se iba reteniendo en las mallas mencionadas con anterioridad.....	52
Ilustración 17. Colocación de la arena dentro de la probeta y se agito posteriormente para expulsar el aire atrapado.....	54
Ilustración 18. Muestreo y etiquetado del agua en estudio.....	55
Ilustración 19. Potenciometro portátil.....	56
Ilustración 20. Conductivimetro.....	57
Ilustración 21. Cambio de color de la muestra de amarillo a naranja rojizo.....	58
Ilustración 22. Titulación de la disolución cambio de color rosa a purpura.....	59
Ilustración 23. Titulación de la disolución cambio de color rojizo a azul.....	60
Ilustración 24. Colocación de la solución concentrada de sulfato de plata.....	61
Ilustración 25. Reactor de DQO.....	62
Ilustración 26. Tubos de la reacción enfriándose a temperatura ambiente.....	62
Ilustración 27. Se pesa la muestra hasta adquirir un peso constante.....	63
Ilustración 28. Los crisoles se introducen a la mufla a una temperatura de $550^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$ .....	64
Ilustración 29. El desecador donde se dejan enfriar la muestra a temperatura ambiente.....	65
Ilustración 30. Filtración de la muestra.....	66



COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MORTEROS DE ALBAÑILERÍA  
PARA LA CONSTRUCCIÓN

Ilustración 31.Mesa de fluidez con ensaye de bronce y calibrador, los instrumentos para realizar la prueba de fluidez.....	71
Ilustración 32.La mesa de fluidez se eleva y se deja caer 1.3 cm, 15 veces durante 15 segundos.....	72
Ilustración 33.Realización de las mediciones en la mesa de fluidez.....	72
Ilustración 34.Preparación de la mezcla y medición de la consistencia.....	75
Ilustración 35.Tiempo inicial y final del fraguado de los morteros.....	77
Ilustración 36. Mezclado mecánicamente.....	78
Ilustración 37. Moldes de acero cavidades cubicas de 50 mm.....	79
Ilustración 38.Procedimiento del apisonamiento del molde.....	79
Ilustración 39.Llenado de los moldes cúbicos en cuatro capas.....	80
Ilustración 40.Descimbrado de los especímenes transcurridas las 24 horas.....	80
Ilustración 41.Curado de los especímenes en recipientes de 19 litros.....	81
Ilustración 42.Molde de acero del prisma.....	82
Ilustración 43.Dirección del apisonamiento.....	82
Ilustración 44.Enrazado de los moldes con la espátula plana.....	82
Ilustración 45 Molde utilizado para la realización de las briquetas.....	83
Ilustración 46.Enrazamiento y elaboración de las briquetas.....	83
Ilustración 47.Revestimiento de la losa de concreto.....	84
Ilustración 48. Revestimiento de la losa con las cuatro marcas del mortero en investigación.....	85
Ilustración 49. Realización de la prueba de Gravedad específica con la canastilla ya adaptada.....	86
Ilustración 50.Desalojo del agua después de colocar el espécimen dentro del picnómetro.....	87
Ilustración 51.Equipo de velocidad de pulso ultrasónico, modelo 58-E0049 marca CONTROLS.....	90
Ilustración 52.Se muestra el procedimiento para la correcta ubicación de los transductores en los cubos, así como el aparato de ultrasonido empleado para la realización de esta prueba.....	91
Ilustración 53. Realización de la prueba de resistencia eléctrica en cubos.....	92
Ilustración 54.Colocación del prisma para la realización del ensayo.....	93
Ilustración 55.Máquina universal Tinius Olsen utilizada para las pruebas de compresión.....	95



COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MORTEROS DE ALBAÑILERÍA  
PARA LA CONSTRUCCIÓN

Ilustración 56. Aplicación de carga constante a los espécimenes cúbicos en la maquina universal Tinius Olsen a la edades antes mencionadas.....	95
Ilustración 57. Identificación del área donde se le aplicara la carga al espécimen prismático.....	96
Ilustración 58. Aplicación de la carga en la maquina universal Tinius Olsen en el punto medio del prisma.....	97
Ilustración 59. Falla del espécimen por medio de la aplicación constante de municiones.....	98
Ilustración 60. Después de la falla se toma el peso de las municiones que soporto el espécimen para registrar el resultado.....	99
Ilustración 61. Maquina de prueba para tensión morteros Michaelis.....	99
Ilustración 62. Perforación de las losas para la prueba de adherencia.....	101
Ilustración 63. Colocación de los dollys en el revestimiento con la ayuda de la resina epóxica. ....	101
Ilustración 64. Resina epóxica Sikadur®-31 Hi-Mod Gel en presentación unidad (componentes A + B) de 1 kg., color gris. ....	102
Ilustración 66. Instrumento de medición Pull Off.....	103
Ilustración 67. Perno con cabeza de pelota al cual se le introduce el Pull Off.....	103
Ilustración 68. Tipos de falla que se obtienen en la prueba de la adherencia. (ASTM C 1583, 2004).....	104
Ilustración 69. Falla 1 en el sustrato.....	105
Ilustración 70. Falla 3 En la línea de unión entre el sustrato y el material de reparación o revestimiento.....	105.
Ilustración 71. Resultados obtenidos de la prueba de compresión a la edad de 3 días.....	107
Ilustración 72. Resultados obtenidos de la prueba de compresión a la edad de 7 días.....	107
Ilustración 73 Resultados obtenidos de la prueba de compresión a la edad de 14 días.....	108
Ilustración 74 Resultados obtenidos de la prueba de compresión a la edad de 28 días.....	108
Ilustración 75. Resultados obtenidos de la prueba de compresión a la edad de 45 días.....	109
Ilustración 76. Resultados obtenidos de la prueba de compresión a la edad de 60 días.....	109
Ilustración 77. Resultados obtenidos de la prueba de compresión a la edad de 90 días.....	110
Ilustración 78. Resultados obtenidos de la prueba de flexión a la edad de 3 días.....	111



COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MORTEROS DE ALBAÑILERÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN

Ilustración 79 Resultados obtenidos de la prueba de flexión a la edad de 7 días.....111

Ilustración 80.Resultados obtenidos de la prueba de flexión a la edad de 14 días..... 111

Ilustración 90.Resultados obtenidos de la prueba de flexión a la edad de 28 días..... 112

Ilustración 91.Resultados obtenidos de la prueba de flexión a la edad de 45 días.....112

Ilustración 92 Resultados obtenidos de la prueba de flexión a la edad de 60 días..... 112

Ilustración 93. Resultados obtenidos de la prueba de flexión a la edad de 90 días.....113

Ilustración 94.Resultados obtenidos de la prueba de tensión a la edad de 3 días.....113

Ilustración 95. Resultados obtenidos de la prueba de tensión a la edad de 7 días.....114

Ilustración 96. Resultados obtenidos de la prueba de tensión a la edad de 14 días.....114

Ilustración 97. Resultados obtenidos de la prueba de tensión a la edad de 28 días..... 114

Ilustración 98. Resultados obtenidos de la prueba de tensión a la edad de 45 días..... 115

Ilustración 99. Resultados obtenidos de la prueba de tensión a la edad de 60 días..... 115

Ilustración 100.Resultados obtenidos de la prueba de tensión a la edad de 90 días.....115

Ilustración 101.Resultados obtenidos del promedio de la prueba de compresión realizada a las edades de 3, 7, 14, 28, 45, 60 y 90 días.....116

Ilustración 102.Resultados obtenidos del promedio de la prueba de flexión realizada a s edades de 3, 7, 14, 28, 45, 60 y 90 días.....116

Ilustración 103.Resultados obtenidos del promedio de la prueba tensión realizada a las edades de 3, 7, 14, 28, 45, 60 y 90 días.....117

Ilustración 104.Resultados obtenidos de la prueba de velocidad de pulso en cubos a la edad de 28 días.....118

Ilustración 105.Resultados obtenidos de la prueba de velocidad de pulso en prismas a la edad de 28 días.....118

Ilustración 106.Resultados obtenidos de la prueba de resistividad eléctrica en cubos a la edad de 28 días.....119

Ilustración 107.Resultados obtenidos de la prueba de resistividad eléctrica en prismas a la edad de 28 días.....119

Ilustración 108.Resultados obtenidos de la prueba de gravedad específica a la edad de 28 días.....120

Ilustración 109.Resultados obtenidos de la prueba de la densidad a la edad de 28 días.....120



Ilustración 110.Resultados obtenidos de la prueba de adherencia realizada a los espécimenes de la edad de 3, 7, 14, 28, 45, 60 y 90 días.....12

### ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.Dosificación recomendada del cemento de albañilería Cruz Azul (Cruzazul, 2014).....17

Tabla 2.Dosificación del cemento de albañilería Tolteca. (Cemex México, 2014).....18

Tabla 3.Dosificación recomendada para el cemento de albañilería Apasco.....20

Tabla 4.Dosificación recomendada para el cemento de albañilería Moctezuma (Cmoctezuma, 2014).....21

Tabla 5.Tipos de rocas.....23

Tabla 6.Resultados obtenidos de la prueba de humedad superficial en arenas.....45

Tabla 7.Resultados obtenidos de la prueba de absorción en arenas.....45

Tabla 8.Resultados obtenidos de la determinación del peso volumétrico seco y suelto de una arena (P.V.S.S).....47



COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MORTEROS DE ALBAÑILERÍA  
PARA LA CONSTRUCCIÓN

Tabla 9.Resultados obtenidos de la determinación del peso volumétrico seco y suelto de una arena (P.S.V.S).....49

Tabla 10.Resultados obtenidos del análisis granulométrico y módulo de finura en arena.....52

Tabla 11.Resultado obtenido de la prueba de densidad en arena.....54

Tabla 12.Resultado del análisis del agua elaborado en el Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la UMSNH.....68

Tabla 13.Resultados de la cantidad de agua necesaria para obtener la consistencia recomendada.....75

Tabla 14.Resultados obtenidos de los tiempos de fraguado. ....77

Tabla 15.Criterios de evaluación en pulso ultrasónico (Durar, 1997).....92

Tabla 16.Criterios generales para la valoración del riesgo por corrosión en función de la resistencia eléctrica. (Durar, 1997).....94

## 1 INTRODUCCIÓN

Dentro de la ingeniería civil, en cuanto a materiales se trata, el mortero es una mezcla muy importante dentro de cualquier proyecto de construcción, en México es uno de los elementos de uso más común en obras y actividades de albañilería y construcción, al ser el elemento principal con el que se adhieren los bloques de construcción como ladrillos, piedras u hormigón y el recurso de relleno de espacios en estructuras montadas. El mortero se utiliza para unir muros de mampostería con gran fuerza; también proporciona una calidad arquitectónica a las estructuras expuestas con contrastes de color y sombra, compensa las variaciones de tamaño en las unidades proporcionando un colchón para unificar las tolerancias dimensionales de las unidades (IDATERM, 2013).

En el sentido general de la palabra, el mortero puede definirse como la mezcla de un material aglutinante (cemento portland y/o otros cementantes), un material de relleno (agregado fino o arena), agua y eventualmente aditivos, que al endurecerse presenta propiedades químicas, físicas y mecánicas similares a la del concreto (Sánchez de Guzmán Diego, 2001).

Probablemente la historia de los cementantes es tan antigua como la propia humanidad. Su empleo se remonta a las épocas en que el hombre se encontró en la necesidad de construir su propia habitación utilizando arcilla o una mezcla de cal y arena para mantener juntas las piedras o ladrillos de ésta, no hay forma de averiguar cuando se descubrió por primera vez un material aglomerante, tal vez el dato más exacto de empleo de materiales cementantes se remota hacia el año 2690 A.C., cuando los egipcios construyeron la pirámide de Gizeh, más tarde en Grecia y roma se produjeron morteros hechos a base de pasta caliza calcinada (cal viva) y agua. Igualmente, a nivel latinoamericano hay muestras de desarrollo de materiales cementantes y estructuras imponentes como las ciudades construidas por los mayas y los aztecas en México o las construcciones de Machu Picchu en el Perú, entre otras. En 1824 El maestro de obras Joseph Aspdin patenta la fórmula de cemento, al quemar polvo fino de gis con arcilla en un horno de cal hasta que el dióxido de carbono era retirado. El producto obtenido fue denominado cemento Portland, ya que su color le recordaba el

o el más común el que se haya conformado por cemento y arena, una composición que ofrece una mayor resistencia y su proceso de secado y endurecimiento es mayor (IDATERM, 2013).



## COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MORTEROS DE ALBAÑILERÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN

Dado a su importancia dentro del proceso constructivo, en este trabajo de investigación se realiza la comparación entre cuatro de las marcas más representativas dentro del centro del país (Cruz Azul, Tolteca, Apasco y Moctezuma), analizando las propiedades físicas y mecánicas de los morteros elaborados con dichos cementos, poniendo especial atención en la prueba de la adherencia puesto que para muchos constructores esta es la propiedad fundamental que deben cumplir los morteros, aunque son pocos los que han realizado un trabajo de investigación, esta falta de mediciones es lo que dio origen a la realización de un estudio más profundo para determinar entre que valores oscila la fuerza de adherencia en morteros, en dependencia de los materiales con los cuales se está trabajando en la actualidad. La adherencia es una característica propia de los morteros de albañilería, es la propiedad que poseen los morteros de adherirse a los materiales con los cuales están en contacto (piedra, ladrillos, acero, etc.) (A. Cabrera Jorge Luis, 1995).

Todas las pruebas tanto destructivas (Compresión simple, tensión y flexión) como la de adherencia se realizaran a la edad de 3, 7, 14, 28, 45, 60 y 90 días, y las no destructivas (Velocidad de pulso ultrasónico, Resistividad eléctrica, Densidad, Gravedad específica y Absorción de agua) a la edad de 28 días que es cuando el mortero alcanza su mayor resistencia.

Con los resultados obtenidos de las pruebas realizadas se busca encontrar en una de las marcas de mortero en análisis, las propiedades que satisfagan los requerimientos necesarios para las diversas situaciones de trabajo, siempre buscando un enfoque objetivo sin favorecer a ninguna marca y así mismo facilitarle el trabajo al constructor al momento que tenga que elegir entre las diferentes marcas que se ofertan en el mercado, dependiendo, claro, del uso que se le vaya a dar. Por tal motivo se pretende que esta investigación se tome en cuenta para cualquier trabajo de construcción que se realice.



## 2.- MORTEROS

### 2.1 Definición de mortero.

El mortero se puede definir como la mezcla de un material aglutinante (cemento portland y/o otros cementantes), un material de relleno (agregado fino o arena), agua y eventualmente aditivos, que al endurecer presentan propiedades físicas, químicas y mecánicas similares a la del concreto, es utilizado principalmente para las siguientes funciones (Sánchez de Guzmán, 2006):

- Unir los elementos de mampostería.
- Servir como material de asentamiento para dichos elementos.
- Nivelar y asentar los elementos.
- Proporcionar cualidades estéticas a la estructura.

El cemento para albañilería (mortero) es el material formado por un cementante hidráulico finamente pulverizado que puede contener uno o más de los materiales siguientes: Clinker Pórtland, piedra caliza, arcilla, puzolana, escoria granulada de alto horno, ceniza volante y yeso; que al agregarle agua y arena tiene la propiedad de fraguar tanto en el aire como en el agua y formar una masa endurecida que adquiere resistencia mecánica con el paso del tiempo hasta un punto máximo. (NMX-C-021-ONNCCE-2004)

### 2.2.- Antecedentes históricos de los morteros

Morteros prehistóricos.

La cal como ligante y el mortero de cal se mencionan ya en la Biblia .El descubrimiento de las propiedades ligantes de la cal es tema de especulación. Algunos autores (Furlan, 1975) renuncian a datar los primeros morteros de cal, mientras que otros (Malinowski, 1991) lo sitúan muy al comienzo de la historia del hombre, cuando éste empezó a usar el fuego para calentarse en cuevas de rocas calizas o cuando se preparaba la comida en hogares construidos de dicho material. La caliza calcinada se apagaba en contacto con la humedad o la lluvia, y el polvo resultante tenía propiedades ligantes de materiales.

Una de las primeras aplicaciones de la cal apagada fue como tinte en pinturas en cuevas (Malinowski, 1991). En Turquía, en la villa neolítica de Çatal Hüyük (6.000 a. J.C.) el “enyesado”



## COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MORTEROS DE ALBAÑILERÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN

que recubre suelos y muros, y que sirve de soporte a pinturas y al modelado de animales en los templos, es una arcilla blanca autóctona aplicada tal cual; en cuanto al mortero de tierra, utilizado para la construcción de las paredes negro y rico en cenizas y restos de huesos, todavía no disponía de un auténtico ligante.

Un reciente estudio de Reller (1992) ha encontrado en Nevali Çori (Turquía) restos de utilización de mortero de cal en pavimentos, que datan del 10.000 al 8.000 a. J.C. En excavaciones posteriores de viviendas neolíticas, situadas en el Mediterráneo Oriental y en Europa, se han encontrado suelos similares de mortero de cal, tratamientos de la superficie y técnicas de pulimentado similares. Wooley (1958) se refiere a éstos como “los pueblos de los suelos pulimentados”.

Las amplias zonas de suelos de mortero en los yacimientos neolíticos indican que debieron usarse considerables cantidades de cal. La tecnología de la construcción, la calcinación de la caliza, el apagado de la cal, la mezcla del mortero, la aplicación del mismo y el refinamiento de la superficie eran indudablemente conocidos por los constructores neolíticos. Algunos investigadores piensan que la calcinación de la caliza durante el período neolítico fue la primera aplicación del fuego para la consecución de objetivos concretos, y en él sitúan el comienzo de la pirotecnología.

Furlan (1975) afirma que no se conoce en Europa central y septentrional ningún ejemplo de utilización de cal en la época prehistórica. Los constructores prehistóricos se servían de arcilla cruda, con la que cubrían los suelos y las paredes de sus casas hechas de tablas de madera y de encañado. Las tapias descubiertas en las excavaciones están siempre construidas de piedras secas, y los empedrados que datan de la época de la Tène (alrededor del 450 a. J.C.) aparecen recubiertos únicamente de tierra batida. Sin embargo, en algunas excavaciones se han descubierto, no sólo en el Norte de Europa sino también en el Noreste de Auvernia, vasos de cerámica en los que los decorados grabados estaban realizados con una materia blanca y dura. Esta sustancia, tras el análisis, ha revelado ser calcárea; a veces, aparece mezclada con polvo de huesos molidos, yeso o arcilla. No ha sido posible determinar si esta pasta blanca fue aplicada originalmente como cal, a veces mezclada con otros elementos, que se carbonataría posteriormente, o si se trataba simplemente de caliza finamente triturada, y hecha pastosa por la adición de materia grasa o de otras materias orgánicas que habrían podido servir de “ligante”.



### Morteros egipcios.

Los egipcios fueron los primeros en utilizar el yeso para el mampostado de los bloques de la pirámide de Keops (hacia 2600 a. J.C.) (Furlan, 1975). El uso de mortero de yeso queda casi exclusivamente limitado en la Antigüedad, a los morteros egipcios (Martinet, 1992; Ragai, 1988; Ragai, 1987; Ragai, 1989; Ghorab, 1986) y algún otro caso aislado señalado en la literatura (Frizot, 1975). Sólo en Grecia se ha encontrado el yeso como ligante en las paredes del Palacio de Micenas y entre los bloques gigantes del antiguo fondeadero de Kition, en Chipre (600 a. J.C.) (Malinowski, 1982).

Se puede afirmar que fue en Egipto donde se logró en la Antigüedad el mayor conocimiento del yeso, de su preparación y aplicaciones, y también donde prácticamente se utilizó por primera vez el yeso puro como mortero. Se utilizaban diversos tipos de yesos en función de su aplicación:

**Yesos de colocación.** Se empleaban para facilitar la colocación de grandes bloques de piedra por deslizamiento en un plano inclinado, con el yeso como lubricante. No hay diferencias analíticas ni estructurales entre el mortero de las juntas verticales con el yeso de empotramiento horizontal de escaso espesor (Martinet, 1992).

**Yesos de acabado.** Utilizados, tras el levantamiento de cimientos y tabiques, para el taponado de las irregularidades de las superficies, de juntas de acabado o de enlucidos de decoración (Martinet, 1992).

**Yesos de decoración.** Fueron empleados en Egipto, como enlucidos. Precisamente será en esta aplicación donde se mantenga fundamentalmente la utilización de yeso durante la época romana y medieval (Furlan, 1975). En lo referente a los enlucidos, en el Antiguo Egipto la capa de yeso era imprescindible para realizar sobre ella la decoración pictórica religiosa, puesto que, a diferencia de la caliza, sobre el gres, el material más frecuentemente empleado, no podía efectuarse sin un enlucido previo, dada la fuerte macro porosidad del soporte (Martinet, 1992).

### Morteros griegos



## COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MORTEROS DE ALBAÑILERÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN

Pese al gran esfuerzo de arqueólogos, científicos e historiadores, aún quedan varios aspectos por dilucidar en relación al uso del mortero de cal y a la preparación de la misma. Puede afirmarse que el empleo del mortero de cal propiamente dicho corresponde a los griegos y romanos (Furlan, 1975; Malinowski, 1991). Las excavaciones realizadas atestiguan que los constructores griegos conocían los ligantes artificiales desde épocas muy remotas lo que corrobora la hipótesis del origen neolítico del mortero de cal. Sin embargo, la utilización del mortero de cal en Grecia para la construcción de muros es muy posterior, finales del siglo II o principio del siglo I a. J.C. (casas de Délos y de Théra). En anteriores construcciones, las piedras estaban unidas por un mortero hecho simplemente de tierra y de arcilla (Orlandos, 1968). Ya desde el siglo VII a. J.C., los constructores griegos hubieron de recurrir a la técnica de estucos y de revestimientos para disimular el aspecto rudo de ciertos materiales como la toba y la caliza, Vitruvio admira el enlucido griego, similar al mármol, en el Palacio de Croesus y el pulimentado de los emplastes, base de pinturas y frescos (Furlan, 1975).

Como se ha comentado anteriormente, se conocen algunos ejemplos de la alta calidad del mortero pulido en los asentamientos del 1500 a. J.C. de Micenas y Minos, en la famosa cisterna de Micenas y en algunos edificios de Festo y Malia en Creta. Esta técnica adoptada por los griegos sería posteriormente aplicada por los romanos en sus construcciones hidráulicas (paredes, suelos, columnas en cisternas y en el interior de acueductos).

Vitruvio describe el pulimentado de morteros como una antigua técnica griega, y afirma que este cuidadoso tratamiento ayuda a impedir la contracción y las rupturas. Describe igualmente la aplicación del mortero en varias capas (3 a 6). La explicación del mecanismo y de la técnica del pulimentado del mortero, así como la razón de su aplicación en varias capas, es el resultado de recientes estudios (Malinowski, 1961 y 1979).

El pulimentado es un proceso que consiste, esencialmente, en la trituration de la cal, del carbonato o de la puzolana del mortero, para crear una estructura superficial densa, que aumente la impermeabilidad del material, acelere la carbonatación e hidratación (esto es, el endurecimiento) y mejore la fuerza y la durabilidad del material. En las construcciones para el transporte de agua el pulimentado y endurecimiento de la superficie no sólo impide la contracción y rotura del mortero,



## COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MORTEROS DE ALBAÑILERÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN

sino que también inhibe la formación de depósitos de cal en las paredes de las cisternas y acueductos debido a la mejora del flujo del agua (Malinowski, 1982).

De forma general, los morteros helénicos están hechos a base de cal y arena fina: los estucos de cal, yeso y polvo de mármol. Pero, según las necesidades, se añadían aditivos para hacer el mortero más duro y estable. En Théra, se introducía en la mezcla cal-arena polvo volcánico o “Tierra de Santorin”, obtenida en la isla. Así se conseguían morteros estables al agua y puede considerarse que éste es el origen de los morteros hidráulicos modernos. Estos morteros estables al agua, así como la técnica de pulimentado de superficies, antes mencionada, fueron adoptados también por los romanos para la construcción de cisternas y acueductos.

El procedimiento de añadir a la mezcla cal-arena sustancias que confieran al mortero estabilidad ante el agua y una mayor dureza era utilizada también fuera de la citada isla, en otras partes de Grecia. Así se ha encontrado “Tierra de Santorin” en estucos que ornamentaban el Héphaístéion de Atenas). Ante la falta de roca volcánica, se utilizaba el ladrillo triturado, como testimonia, a simple vista, la coloración rosa de ciertos enlucidos exteriores. El punto crucial en la historia del mortero es la adición a la mezcla de materiales que pudieran favorecer las características de la misma, y, más concretamente, el comienzo del empleo, tan extendido posteriormente, de puzolanas (primero naturales, más tarde artificiales), que en su reacción con la cal mejoran la dureza y estabilidad del mortero (Furlan, 1975).

### Morteros romanos.

Son los romanos los herederos de la tecnología de la construcción griega, y más concretamente del empleo del mortero de cal. Ya se ha señalado previamente que los romanos aplicaron la antigua técnica griega del pulimentado del mismo en sus construcciones para la conducción de agua, además del uso del mortero de cal, opus caementitium, en otras construcciones como el Parteon, el Coliseo y acueductos como el de Segovia o Pont du Garde.

Introdujeron en algunas de sus construcciones el sistema de aplicación del mortero en multicapa, como queda de manifiesto en los estudios realizados en el acueducto de Cesarea (Malinowski, 1979 y 1982), donde se aplicaron separadamente las distintas capas para favorecer el



## COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MORTEROS DE ALBAÑILERÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN

endurecimiento de cada una de ellas. En esta construcción, en concreto, una ligera capa grisácea, que contiene cenizas, es una lámina ligante; una blanca, con polvo de mármol, previene la contracción; y una capa rojiza, puzolánica, muy finamente pulimentada, de cerámica, asegura el endurecimiento en agua, la impermeabilidad y su consistencia.

Los romanos también heredaron de los griegos la técnica de añadir a la mezcla diversas sustancias que favorecían las características del mortero. Por ejemplo, con frecuencia se añadía lava ligera como agregado, como lo demuestran los morteros hallados en el Foro Romano en Ostia, en Pompeya y Herculano. La gran durabilidad de estos morteros pulidos se explica por la baja absorción y desorción de agua del agregado; al actuar de igual forma para la entrada de aire, afecta también al hinchamiento y a la contracción del mortero. Se puede señalar, por tanto, que la civilización romana mejoró los procedimientos de fabricación de la cal y las técnicas de aplicación de su mortero. Sin embargo, se ha pretendido profundizar más en la excelente calidad de estos morteros romanos buscando otros factores, además del uso de los aditivos anteriormente comentados. Diversos autores (Malinowski, 1961; Furlan, 1975; Furlan, 1990) señalan que, además de las características de composición, el mortero romano debe su excepcional calidad al cuidado con el que se elegían y mezclaban sus elementos constitutivos. La masa del mortero era comprimida con pilones, para llenar absolutamente todos los intersticios, expulsando la menor burbuja de aire. Se ha señalado también que la calidad de los morteros romanos estaba unida no sólo a los secretos de fabricación, sino, particularmente, a aditivos muy especiales.

Es posible que, para usos particulares (colocación de mosaicos, enlucidos sometidos a la acción del agua, etc.), los constructores romanos hicieran uso de aditivos tales como la albúmina y la caseína. La utilización de urea y de aceites tampoco se excluye. Sin embargo, todo induce a pensar que nunca hubo otros secretos. Pues si tales secretos hubieran existido, habrían sido transmitidos, sin duda, por la tradición. Todo lleva, por tanto, a creer que la calidad de los morteros romanos se debe esencialmente al uso de materiales convenientes (buena selección de la cal, del agregado y en casos de mezclas especiales, de otras sustancias como terracota, tejas, etc.), a la homogeneidad y correcta proporción de las mezclas, a la perfecta cocción y extinción de la cal, y a una aplicación particularmente cuidadosa (Malinowski, 1961; Furlan, 1975).



Morteros modernos.

Hasta el siglo XVIII no se inicia la fabricación de ligantes hidráulicos, susceptibles de endurecer bajo el agua. Los griegos, como ya se ha visto, supieron crear morteros estables al agua por medio de materiales tales como la tierra de Santorin y el tejo. Los romanos generalizaron el uso de los morteros de cal y puzolana. La mayor estabilidad en agua de las masas así obtenidas se debe a una reacción más o menos lenta entre la cal, la sílice coloidal y la alúmina, contenidas en los productos mencionados (Furlan, 1975). El fenómeno más importante para la larga duración de los morteros romanos parece ser la protección de la matriz del ligante calcáreo debido a la baja permeabilidad del mortero a los agentes agresivos, unido al desarrollo de reacciones puzolánicas y a la formación en la superficie de una costra protectora de carbonato (Furlan, 1975).

El descubrimiento de los ligantes hidráulicos modernos se remonta a 1756. Smeaton, encargado de la construcción del faro de Eddyston (Plymouth), se propuso encontrar una cal que pudiera resistir la acción del agua de mar. Los ensayos efectuados con una caliza de Aberthan dieron resultados positivos. Los análisis químicos demostraron la presencia de arcilla. Se llegó así a la conclusión de que “la presencia de arcilla en la caliza debe ser uno de los factores principales o el único que determina la hidraulicidad”. La influencia de la tradición romana retardó probablemente el descubrimiento de los ligantes hidráulicos artificiales, ya que en la literatura romana se insiste sobre el hecho de que para obtener una buena cal hay que partir de una caliza muy pura. En consecuencia, las calizas arcillosas eran rechazadas sistemáticamente (Furlan, 1975; Rassineux, 1989).

Las cales hidráulicas pueden ser consideradas como productos intermedios entre la cal hidratada y el cemento Portland actual. Es más, con los constituyentes hidráulicos, las cales presentan siempre un contenido elevado en cal libre y, por ello, deben ser sometidas a extinción. Esta operación, que consiste en hidratar el óxido de calcio libre, debe hacerse con una cantidad moderada de agua, para evitar la hidratación de los constituyentes hidráulicos, proceso que era ya conocido por los precursores de Vicat (Furlan, 1975).



Morteros actuales.

En 1811, James Frost patenta un cemento artificial obtenido por calcinación lenta de caliza molida y arcilla, anticipándose al proceso que después llevó al establecimiento de algunos cementos hidráulicos “artificiales”, el más famoso de los cuales se conoce como “Portland”, por su supuesta apariencia y similitud con la roca caliza del mismo nombre. El comienzo del siglo XIX conllevó como hemos visto muchos experimentos e investigaciones sobre estos materiales, fundamentalmente por Vicat (Ashurst, 1983).

Joseph Apsdin, un albañil de Wakefield, patenta en 1824 un cemento “tan duro como la piedra Portland”. Este es el origen del primer tipo de cemento Portland. Apsdin lo preparaba desmenuzando y calcinando la caliza, mezclando la cal resultante con arcilla y tierra y luego hidratando la mezcla cuidadosamente. A continuación calcinaba la mezcla, la desmenuzaba y la calcinaba por segunda vez, con lo que se desprendía el ácido carbónico residual. Como se empleaban temperaturas bajas, la calidad del cemento no podía ser alta (Furlan, 1975; Ashurst, 1983).

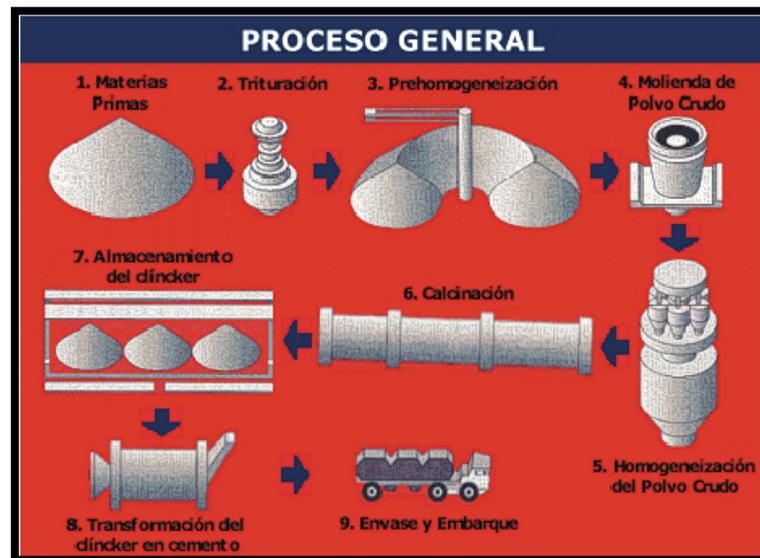
En 1838, el hijo de Apsdin, William, fabricó cemento en Gateshead, para la construcción de un túnel bajo el Tamesis con resultados más satisfactorios. Quizás fue que la calcinación se llevó a cabo a temperaturas más altas (Ashurst, 1983). A partir del trabajo de Johnson en Rochester, se obtuvo el cemento Johnson. El descubrimiento de Johnson consistió en que el Clinker obtenido por fusión parcial de los elementos constitutivos de la primera materia sobrecalentada, y que hasta entonces se había tirado siempre como desecho inutilizable, da resultados mucho mejores que el cemento habitual, a condición de ser finamente triturado.

Los cementos producidos a partir de 1850 lo fueron con métodos modernos, moliendo la cal y la arcilla en un molino húmedo y calcinando la mezcla a temperaturas entre 1300° y 1500° C. La caliza se convierte así en cal viva, que se une químicamente con la arcilla formando un clinker de cemento Portland. Después de volver a moler y calcinar, el clinker blanco caliente se deja enfriar y se añade una pequeña cantidad de yeso para prolongar el tiempo de fraguado.

La Exposición Universal de 1851, permitió una demostración del nuevo producto, lo que le dio una gran publicidad. Desde ese momento, la mayor parte de los fabricantes de ligantes practican

la calcinación a alta temperatura, y la cal fue reemplazada progresivamente por el cemento. Las principales objeciones al uso de cales hidráulicas, cementos naturales y especialmente cemento Portland se basan en su alta resistencia, su carácter más bien impermeable y el riesgo de transferencia de sales solubles, en concreto sales de sodio, que alteran los materiales de construcción (Furlan, 1975; Ashurst, 1983).

Desde el final del siglo XIX, los principios generales de la fabricación del cemento Portland no han cambiado apenas. Sin embargo, se ha asistido a una evolución técnica y científica muy importante, que ha llevado a la preparación de ligantes aplicables a situaciones muy específicas, que han abierto un enorme campo en la investigación de estos materiales.



**Ilustración 1. Proceso general del proceso de fabricación del cemento.**

### 2.3.- Clasificación de los morteros

Los morteros se pueden clasificar según el tipo de conglomerante en:

Morteros de cal: está fabricado con cal, arena y agua. Esta cal puede ser tanto aérea como hidráulica.

Los morteros de cal se caracterizan por:

1. Por su plasticidad,
2. Por su color,
3. Por su trabajabilidad en la aplicación.



## COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MORTEROS DE ALBAÑILERÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN

Morteros de cemento de aluminato de calcio Fabricados a base de cemento de aluminato de calcio, arena yagua. Ahora bien Si en este tipo de morteros la arena es del tipo refractaria obtenemos los morteros refractarios.

Morteros bastardo de cemento de base Pórtland y cal aérea: Son morteros compuestos por dos clases de conglomerantes compatibles, es decir, cemento y cal. Se caracterizan por su alta trabajabilidad, comunicada por la cal, presenta colores claros por lo que se utilizan como mortero de agarre en fábricas de ladrillo cara vista.

También se puede clasificar en Morteros de cemento Pórtland ya que utiliza cemento como conglomerante.

Ahora bien existen morteros especiales como son:

Morteros de cemento-ligante. Son morteros fabricados con un conglomerante a base de mezclas de cemento de base, estos Necesitan poca agua para su amasado y endurecen rápidamente.

Morteros ligeros. Se emplean en cubiertas planas para dar pendiente a los faldones. Morteros sin finos. Se utilizan principalmente para la fabricación de piezas de mortero aligerado y para pavimentos filtrantes.

Morteros ignífugos. Se emplean para revestir estructuras metálicas, formadas por elementos de acero, o cualquier otro elemento al que se le tenga que proporcionar resistencia al fuego. Por otra parte; los morteros que tienen poca cantidad de cemento son los llamados morteros pobres o ásperos, esos morteros son muy difíciles de trabajar.

Ahora bien los morteros que son capaces de soportar temperaturas elevadas sin corroerse o debilitarse por el entorno son llamados Morteros refractarios, ejemplo de este tipo de cementos se distingue las cerámicas. Los refractarios típicos están mezclados por diferentes partículas gruesas de óxido unidas con un material refractario más fino.



#### 2.4.- Tipos de morteros según su aplicación.

Morteros para uso corriente: Son morteros para utilizarlos en juntas cuyo espesor sea superior a 3 mm y en el que, únicamente, se utilizan áridos normales-

Morteros para juntas finas: Son morteros diseñados para realizar juntas cuyo espesor este comprendido entre 1mm y 3 mm.

Morteros ligeros: Son morteros diseñados cuya densidad –en estado endurecido y seco- es inferior de  $1500 \text{ kg/m}^3$ : (Calvo B., Maya M., Parra J.L. ,2001).

#### 2.5.- Morteros según su diseño.

El desarrollo industrializado de los morteros ha facilitado la capacidad de producir morteros a la medida del cliente, tanto en lo relativo a las propiedades que tendrá el mortero servido como en la afinada composición y proporción de sus componentes. Conforme a esto cabe otra clasificación definida según el concepto, bien de prestación (propiedades a obtener), bien de receta (composición y proporciones de la mezcla).

Morteros diseñados. Son morteros cuya composición y sistema de fabricación se han elegido por el fabricante con el fin de obtener unas propiedades demandadas específicamente por el cliente.

Morteros de receta o prescritos. Son morteros que se fabrican con unas composiciones determinadas y cuyas propiedades dependen de las proporciones de los componentes declarados.

#### 2.6.- Morteros según su método de fabricación

La tecnología de fabricación de los morteros y su llegada a obra ha evolucionado y se ha diversificado considerablemente en los últimos años. Desde los tradicionales morteros in situ a los actuales morteros industriales suministrados desde fábrica, se establece otra clasificación según su forma de fabricación.

Morteros hechos «in situ» .Estos morteros están compuestos por los componentes primarios, dosificados, mezclados y amasados con agua en la obra.



## COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MORTEROS DE ALBAÑILERÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN

Morteros industriales semiterminados. Dentro de este grupo existen los morteros predosificados y los morteros premezclados de cal y arena.

Morteros Predosificados. Son aquellos cuyos componentes básicos (conglomerantes o conglomerantes y áridos) dosificados independientemente en una fábrica, se suministran al lugar de su utilización, donde se mezclan en las proporciones y condiciones especificadas por el fabricante y se amasan con el agua precisa hasta obtener una mezcla homogénea para su utilización. Estos morteros pueden tener aditivos y/o adiciones en sus correspondientes compartimentos.

Los componentes básicos de estos morteros se presentan -por regla general- en un silo que tiene un compartimento para cada material (conglomerante o conglomerantes, por una parte, y áridos, por otra); de aquí que estos morteros también se conozcan como «morteros de dos componentes».

Morteros premezclados de cal y arena. Son aquellos cuyos componentes se han dosificado y mezclado en fábrica para su posterior suministro al lugar de construcción, donde se les puede añadir otro u otros componentes especificados o suministrados por el fabricante (por ejemplo, cemento). Se mezclan en las proporciones y condiciones especificadas por el fabricante y se amasan con el agua precisa hasta obtener una mezcla homogénea para su utilización.

Morteros industriales. Son aquellos que se han dosificado, mezclado y, en su caso, amasado con agua en una fábrica y suministrado al lugar de construcción. Estos morteros pueden ser «morteros secos » o «morteros húmedos».

Morteros húmedos: son mezclas ponderales de sus componentes primarios (conglomerantes, áridos y aditivos). Además pueden tener adiciones en proporciones adecuadas. Se amasan en una fábrica con el agua necesaria hasta conseguir una mezcla homogénea para su utilización. Los morteros húmedos precisan añadir retardadores para prolongar su trabajabilidad.

Morteros secos: son mezclas ponderales de sus componentes primarios (conglomerante o conglomerantes y áridos secos). Además pueden tener aditivos y/o adiciones en proporciones adecuadas preparadas en una fábrica. Se suministran en silos o en sacos y se amasan en la obra, con el agua precisa, hasta obtener una mezcla homogénea para su utilización.



Actualmente los morteros secos industriales han desarrollado una alta tecnología que permite satisfacer las exigencias del proyectista y constructor tanto en puesta en obra como en sus requerimientos constructivos bajo una alta fiabilidad. Son los morteros con mayor carga tecnológica, enfocada a lograr la garantía de calidad que requiere su utilización. Por su importancia veamos en detalle esta última tipología.

Una ventaja significativa de los morteros secos consiste en que por su forma de suministrarse –silos o sacos– se protege perfectamente el contenido a mezclar. El mortero que se fabrica es el que realmente va a ser consumido, de modo que no se desaprovecha ninguna cantidad. El mortero no precisa, por tanto, retardantes que demoren el fraguado hasta que vaya a ser utilizado evitando su sobreaditivación.

## 2.6.- Usos de los morteros.

Morteros para unir mamposterías: es el mortero tradicional que se elabora para pagar de manera artificial la mampostería.

Morteros de recubrimiento: es igual al anterior solo que el agregado pétreo debe ser más fino para que el acabado sea más estético.

Morteros de juntas finas: estos morteros también cuentan con agregado un poco más fino debido a que las juntas en las que se emplean no superan los 3 mm de espesor, se utilizan en firmes para pisos, plantillas, etc. (Calvo B., Maya M., Parra J.L. ,2001).

## 2.8.- Tipos de mezclado

Es esencial que los ingredientes se mezclen apropiadamente para producir mortero o concreto fresco en el cual la superficie de todas las partículas de agregado es recubierta con pasta de cemento y que sea homogénea en la macro escala para que posea propiedades uniformes.

Mezclado con mezcladoras de concreto. Las mezcladoras de concreto no solo realizan la uniformidad de la mezcla que se acaba de mencionar, sino que también deben descargar la mezcla sin modificar su uniformidad. De hecho el método de descarga es una de las bases de clasificación de las mezclas de concreto. Para las mezclas existen una gran variedad de mezcladoras.



Mezclado a mano. Se tienen algunas ocasiones en que es necesario mezclar a mano pequeñas cantidades de mortero y, como este caso la uniformidad es más fácil de alcanzar, se necesitan cuidados y esfuerzos especiales. Para asegurar que el arte más importante no se olvide, se describe un procedimiento adecuado.

Se extenderá el agregado sobre una base dura, limpia y no porosa en una capa uniforme; el cemento se extiende entonces sobre el agregado, y los materiales secos se mezclan volcando desde uno a otro extremo de la artesa y “cortando” con una pala hasta que la mezcla parezca uniforme. Usualmente se requiere volcar unas tres veces. Entonces se agrega el agua gradualmente, de manera que no se pueda escapar ni por sí mismo ni por el cemento. La mezcla se traspela, por lo general tres veces, hasta que parezca uniforme en color y consistencia. (Neville A. M., 1999, págs. 42,147)

## 2.9.- Morteros en estudio

### 2.9.1.- Cemento mortero Cruz Azul

El Cemento Mortero Cruz Azul satisface ampliamente la Norma Mexicana NMX-C-021-ONNCCE y la Norma Norteamericana ASTM C-91.



**Ilustración 2. Mortero cruz azul presentación en saco de 50 kg. (Cruzazul, 2014).**

**COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MORTEROS DE ALBAÑILERÍA  
PARA LA CONSTRUCCIÓN****USOS**

- Aplanados
- Junteo de Tabiques
- Obras de Ornato

El Mortero Cruz Azul es ideal para pegar piedra, ladrillo, tabique, block, tabicón, celosías, tubo de albañal y sirve para la colocación de azulejos y mosaicos. Por su color permite diseñar acabados aparentes de gran calidad. Está diseñado para las obras que exigen gran durabilidad, adherencia, impermeabilidad y economía.

**VENTAJAS**

La calidad del Mortero Cruz Azul asegura mayores resistencias que los morteros convencionales, por lo que se puede utilizar con ventaja para elaborar plantillas de desplante, firmes y banquetas. Además, el empleo de Cemento Mortero Cruz Azul en sus obras le proporciona mejores rendimientos y ahorros (Cruzazul, 2014).

**Tabla 1. Dosificación recomendada del cemento de albañilería Cruz Azul (Cruzazul, 2014).**

<b>USOS</b>	<b>CEMENTO BULTO</b>	<b>ARENA BOTES</b>	<b>GRAVA BOTES</b>
<b>Pisos, Firmes, Banquetas y Guarniciones</b>	<b>1</b>	<b>2 ½</b>	<b>3</b>
<b>Junteo de Tabique, Azulejo, Mosaico, Celosía</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>--</b>
<b>Plantillas</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	<b>--</b>
<b>Mampostería y Aplanados</b>	<b>1</b>	<b>6</b>	<b>--</b>
<b>Aplanados Especiales</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>--</b>

Estas dosificaciones son las que recomienda la empresa cruz azul para las diversos usos en los que se emplea del morero.

### 2.9.2.- Cemento de albañilería Tolteca

El mortero es un producto diseñado para trabajos de albañilería; cumple ampliamente con todas las especificaciones de calidad establecidas en la norma mexicana NMX-C-21-1981. El cemento para albañilería tolteca está diseñado para trabajos en donde no se requieren elevadas resistencias a la compresión sino tan solo a propiedades ligantes y/o aglutinantes.



**Ilustración 3. Mortero Tolteca presentación en saco de 50 kg (Cemex México, 2014).**

**Tabla 2. Dosificación del cemento de albañilería Tolteca. (Cemex México, 2014).**

DOSIFICACIÓN PARA APLANADOS Y PEGADOS			
Mortero Saco de 50kg	Arena amarilla	Arena volcánica	Arena de río
	1-4*	6-7*	8*

\* Las dosis de arena son en botes de 19 litros.

Diseñado para producir mezclas de plasticidad y trabajabilidad óptima y con la resistencia adecuada para utilizarse en trabajos de albañilería como: junteo o pegados de bloques, tabiques, ladrillos, piedra y mampostería; aplanados, entortados, enjarres, repellido y resanes; firmes, plantillas



y banquetas. No debe utilizarse en la construcción de elementos estructurales. Información Técnica Basada en la norma NMX-C-021-ONNCCE-2010, (Cemex México, 2014).

### 2.9.3.- Cemento de albañilería Apasco.

El Mortero Maestro es el producto ideal cuando se realizan trabajos de albañilería relacionados con la construcción y elaboración de elementos de mampostería -no estructurales-, tales como:

- Aplanado de muros
- Junteo de elementos de mampostería como bloques, ladrillos y tabicones
- Pega de piedra braza para cimentaciones y muros
- Entortados para pendientes y renivelaciones
- Plantillas (para evitar la contaminación del concreto)
- Firmes (para pisos de servicio peatonal; en este caso se puede adicionar grava)
- Base para empedrados (de uso arquitectónico)
- Acabados finos tipo estuco



**Ilustración 4. Mortero Apasco en presentación de saco de 50 kilos (arquired, 2014).**



COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MORTEROS DE ALBAÑILERÍA  
PARA LA CONSTRUCCIÓN

El Mortero Maestro de Holcim Apasco cumple con los requisitos de calidad estipulados por la norma mexicana NMX - C-21 - ONNCCE vigente.

Debido a sus excelentes propiedades y formulación especial, con el Mortero Maestro se tienen los siguientes beneficios:

- Mayor ahorro en trabajos de albañilería y mampostería.
- Mayor rendimiento por m<sup>2</sup>.
- Mejor calidad en trabajos de albañilería gracias a su menor grado de agrietamiento
- Mejorada trabajabilidad de la mezcla.
- Protección a la salud. Gracias a su fórmula HT, NO produce quemaduras de piel y ojos como lo hacen las mezclas que se elaboran a base de cemento con cal.
- Es producido bajo estricto control de calidad en nuestras plantas de cemento utilizando investigación, infraestructura y tecnología de punta garantizando así uniformidad y calidad del producto. (Arquived, 2014)

**Tabla 3. Dosificación recomendada para el cemento de albañilería Apasco.**

Aplicación	Mortero Maestro Saco de 50 Kg	Bote de arena* 18 L
Trabajos de Mampostería y Plantillas	1	9 a 11
Pega de elementos prefabricados tales como bloques, tabicones y tabiques elaborados de rellenos para dar pendiente (entortados)	1	7 a 9
Aplanados, enjarre o zarpeo y acabado fino (tipo estuco)***	1	6 a 8
Bases para empedrados y firmes**	1	4 a 6



### 2.9.4.- Cemento de albañilería Moctezuma.

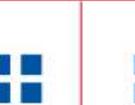
El Mortero Moctezuma (Cemento para albañilería) está elaborado para ser empleado en trabajos de albañilería, donde no se requieran elevadas resistencias a la compresión, sino tan sólo propiedades ligantes o aglutinantes. Se recomienda para: Plantillas, Aplanados Alta Resistencia (Zarpeo), Junteo Piedra Braza, Repellados, Aplanados, Junteo de Tabique, Block y Tabicón.



**Ilustración 5. Mortero Moctezuma en presentación de 50 kg. (Cmoctezuma, 2014).**

Las mezclas preparadas son altamente plásticas gracias a la retención de agua; esto facilita su aplicación de manera uniforme, permitiendo corregir irregularidades en las piezas o superficies sobre las que se aplica. Dadas sus características de alta plasticidad y cohesividad, las mezclas se ligan más fácilmente a la superficie, disminuyendo el desperdicio (Cmoctezuma, 2014).

**Tabla 4. Dosificación recomendada para el cemento de albañilería Moctezuma (Cmoctezuma, 2014).**

	Plantillas	Aplanados Alta Resistencia (Zarpeo)	Junteo piedra Braza	Enjarres, Repellados, Aplanados	Junteo de Tabique, Block y Tabicón
<b>1 Saco Mortero de 50 kg +</b>					
<b>Arena</b> Botes de 18 Litros	 8	 3	 6	 6	 6
<small>Cantidades Ilustrativas (La aplicación puede variar) Cumple con la Norma Mexicana NMX-C-021-ONNCCCE-(VIGENTE)</small>					



### 3.- MATERIAL PÉTREO

El mortero es un material pétreo artificial que se obtiene de la mezcla, en determinadas proporciones, de pasta y agregados minerales. La pasta se compone de cemento y agua, que al endurecerse une a los agregados formando un conglomerado semejante a una roca debido a la reacción química entre estos componentes. 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 que éste deje (Palbol, 1996).

El esfuerzo que el concreto puede resistir como material compuesto está determinado principalmente, por las características del mortero (mezcla de cemento, arena y agua), de los agregados gruesos y de la interface entre éstos dos componentes. Debido a lo anterior, morteros con diferentes calidades y agregados gruesos con diferentes características (forma, textura, mineralogía, resistencia, etc.), pueden producir concretos de distintas resistencias (Özturan y Çeçen 1997). 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 concreto y tienen un efecto significativo en el comportamiento de las estructuras (Chan 1993).

La necesidad de contar con un concreto de calidad hace indispensable conocer a detalle sus componentes, ya que tanto la resistencia como la durabilidad dependen de las propiedades físicas y químicas de ellos, especialmente de los agregados. Sin embargo, uno de los problemas que generalmente encuentran los ingenieros y los constructores al emplear el concreto, es la poca verificación de las características de los agregados pétreos que utilizan, lo que propicia con cierta frecuencia resultados diferentes a los esperados (Cerón et al. 1996).

#### 3.1 Propiedades físicas de los agregados

El 100% de los concretos que se elaboran en México ocupan para su fabricación agregados que pueden ser obtenidos de dos fuentes: en depósitos de origen natural (ríos, playas, etc.) y como productos de trituración de roca. En la tabla 5 se presenta información sobre el origen, características físicas distintivas y su influencia en el concreto (cuando se utilizan como agregados), de las 3 familias de rocas conocidas, que son: ígneas, sedimentarias y metamórficas (Uribe 1991).



COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MORTEROS DE ALBAÑILERÍA  
PARA LA CONSTRUCCIÓN

Desde el punto de vista de su tamaño, los agregados se dividen en dos grupos: los agregados finos y los agregados gruesos. Los primeros consisten en arenas naturales o manufacturadas con tamaños de partícula que van desde 5 mm hasta mayores de 60  $\mu\text{m}$ ; los segundos son aquellos cuyas partículas son mayores a 5 mm y hasta 125 mm (Neville 1999).

De acuerdo a su peso específico, los agregados se dividen en ligero, normales y pesados; estas diferencias los hacen aptos para producir concreto con cierta variedad en el peso unitario, el cual es una característica básica del material (Alatorre y Uribe 1998).

Algunas otras importantes propiedades físicas de los agregados son: la forma y textura de las partículas, la porosidad, la absorción, la densidad, la adherencia, la resistencia, etc. También es de suma importancia la granulometría de los agregados, y el tamaño máximo del agregado (para la grava), tanto en el comportamiento del concreto en estado plástico, como en su estado endurecido.

**Tabla 5. Tipos de rocas.**

	Tipo de roca y origen	Nombre	Componentes mineralógicos	Textura	Estructura	Observaciones relativas a su uso en el concreto
Ígneas	Plutónicas	Granito	Cuarzo, feldspatos, mica y plagioclase	Fanerítica	Batolitos cuerpos intrusivos	Fácilmente intemperizable en clima tropical, intemperismo esferoidal
		Diorita	Plagioclase y mica	Fanerítica	Cuerpos intrusivos	
		Gabro	Plagioclase y mica	Fanerítica	Cuerpos intrusivos	Alto peso específico
	Volcánicas piroclásticas	Riolita	Cuarzo, feldspato, plagioclase, vidrio y mica	Afanítica porfídica	Domos flujos de lava	Altamente reactiva con los álcalis del cemento
		Andesita	Plagioclase, vidrio y mica	Afanítica porfídica	Derrames de lava	



COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MORTEROS DE ALBAÑILERÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN

	Tipo de roca y origen	Nombre	Componentes mineralógicos	Textura	Estructura	Observaciones relativas a su uso en el concreto	
		Basalto	PLV YM	Afinítica vesicular	Denzames de lava	Alta resistencia a la compresión, porosa y resistente a la abrasión	
		Tobas	Variable	Porfídica	Pseudoestratificación	Dependiendo de la mineralogía pueden ser reactivos y algunas son muy deleztables	
Sedimentarias	Clásticas	Conglomerado	Fragmentos de roca y matriz	Fragmentos redondeados 2mm de diámetro	Estratificación gruesa, lentes rellenas de cauces, masiva		
		Arenisca	Qz, Pk, pl y fragmentos de roca	Fragmentos 2mm a 1/16 mm de diámetro	Estratificación masiva lentes	Puede contener cementante siliceo que es reactivo con los álcalis del cemento	
		Lutita	Materiales arcillosos	Fragmentos 1/5 mm de diámetro	Laminaciones masiva	Puede presentar fisibilidad, baja resistencia a la compresión, puede hidratarse a través de los materiales arcillosos	
	No clásticas	Caliza	Calcita	Cristalina	Estratificación masiva	Altamente soluble	
		Marga	Calcita y minerales arcillosos	Cristalina	Estratificación	Sus minerales arcillosos puede hidratarse fácilmente	
		Dolomita	Calcita y dolomita	Cristalina	Estratificación masiva	Sus componentes mineralógicos pueden provocar la reacción alcali-carbonato (a través de la desdoloración)	
		Yeso	Yeso anhidrita	Cristalina	Vetas y lentes	Muy ligero, baja resistencia a la abrasión	
		Carbón	Carbón	Criptocristalina	Mantos, vetas, lentes	Ligero, deleznable y/o frágil, produce protuberancias durante la hidratación del cemento Portland	
	Metamórficas	Foliadas	Pizarra pilita	Qz, micas, clorita, sericita	Foliada de grano fino	Foliación	Deleznable
			Esquisto	Micas, Pk, clorita Qz, calcita y feldespatos	Foliada de grano medio	Foliación	A veces muy deleznable
Gneiss			Qz, feldespatos ferromagnesianos	Foliada de grano grueso	Foliación masiva		
No foliadas		Hornfels	Mica, granate, Pk cuarzo, feldespatos	Afinítica	Masiva	Puede presentar sílice del tipo reactivo con los álcalis del cemento	
		Cuarcita	Qz, feldespatos silíceos	Granoblástica	Masiva	Dembocres	
		Mármol siliceo	Calcita, Pk y AN	Granoblástica	Masiva		

3.2.- Influencia de los agregados pétreos en las propiedades del concreto fresco.

La absorción es quizás la propiedad del agregado que más influye en la consistencia del concreto, puesto que las partículas absorben agua directamente en la mezcladora, disminuyendo la manejabilidad de la mezcla. Si dos tipos de agregados tienen absorción similar, otros factores secundarios serán de importancia en la consistencia de la mezcla, tales como forma, tamaño y graduación; ya que mientras mayor superficie del agregado sea necesario cubrir con pasta, se tendrá menos fluidez. Una buena consistencia y manejabilidad de la mezcla se obtiene con la combinación de índices bajos de absorción y un coeficiente bueno de forma, en donde las partículas son aproximadamente redondas (Alaejos y Fernández 1996).



Los agregados se pueden calificar por su forma, en base a su grado de redondez y esfericidad, obteniéndose una medida relativa de carácter comparativo y descriptivo. La manera como esta característica puede influir en el concreto fresco es variable, logrando producir, por ejemplo, a mayor grado de redondeamiento menor relación de vacíos;

Pero por otra parte un menor valor de este parámetro reduce la capacidad de compactación (Neville 1999).

Por otro lado, la granulometría y el tamaño máximo del agregado (TMA) para las gravas, afectan las porciones relativas de los agregados, así como los requisitos de agua y cemento, la trabajabilidad, la economía y la durabilidad del concreto. Cuando los agregados son muy gruesos, pueden producir mezclas rígidas; mientras que aquellos agregados que no poseen una gran deficiencia o exceso de algún tamaño y tienen una curva granulométrica suave, producirán resultados más satisfactorios en las propiedades del concreto fresco (Kosmatka y Panarese 1992).

En el agregado fino hay dos elementos que deben ser considerados, por un lado el módulo de finura (MF), y por el otro la continuidad en los tamaños, ya que algunas arenas pueden tener módulos de finuras aceptables (entre 2.2 y 3.1) y carecer de alguna clase granulométrica. Si consideramos únicamente el módulo de finura, pueden obtenerse dos condiciones desfavorables: una de ellas existe cuando el módulo de finura es mayor a 3.1 (arena gruesa), en donde puede ocurrir que las mezclas sean poco trabajables, faltando cohesión entre sus componentes y requiriendo mayores consumos de cemento para mejorar su trabajabilidad; la otra condición es cuando el módulo de finura es menor a 2.2 (arena fina), en este caso puede ocurrir que los concretos sean pastosos y que haya mayores consumos de cemento y agua para una resistencia determinada, y también una mayor probabilidad que ocurran agrietamientos de tipo contracción por secado (Uribe 1991).

### **3.3.- Influencia de los agregados pétreos en las propiedades del concreto endurecido.**

Frecuentemente la variación de la resistencia del concreto puede explicarse con el cambio de la relación a/c, no obstante existe evidencia en la literatura que éste no siempre es el caso. Además por consideraciones teóricas, independientemente de la relación a/c, las características de las partículas del agregado tales como el tamaño, la forma, la textura de la superficie y el tipo de mineral,



## COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MORTEROS DE ALBAÑILERÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN

influyen en las características de la zona de transición, y por lo tanto, afectan la resistencia del concreto (Mehta y Monteiro 1998).

Por otro lado, la capacidad de absorción de un material incide directamente sobre el grado de alteración que este mismo puede sufrir; la cantidad de espacios vacíos como los poros y fisuras, y la permeabilidad, son factores que influyen sobre la durabilidad de cualquier estructura de concreto. Una propiedad de los agregados que resulta ser de vital importancia es la densidad, ya que si se emplea un material con una buena densidad ( $\geq 2.25$ ) el concreto resultante podría ser mayor o igualmente denso, lo cual tendrá una influencia directa sobre el peso volumétrico y la resistencia a la compresión del mismo. El volumen que ocupa un agregado según su peso es un indicador de las características del mismo en cuanto a ligereza, porosidad y permeabilidad, propiedades que pueden afectar al concreto en un mayor requerimiento de cemento para una resistencia específica y con esto una influencia directa sobre la economía de la mezcla. También, es conocido que a mayor porosidad mayor fuerza de adhesión, de manera que los agregados gruesos con una mayor densidad y resistencia al desgaste presentan una menor porosidad, y como consecuencia menor adherencia y cantidad de finos que pasan por la malla N° 200 (Cerón et al. 1996).

La presencia de un porcentaje importante de materia orgánica en los agregados puede provocar problemas en la fabricación de concreto, ya que trae consigo efectos como inhibir la adecuada hidratación del cemento y por lo tanto causar un retraso en el endurecimiento del mismo. Los agregados contaminados pueden ser causa de reducción de la resistencia a la compresión del concreto; y además, pueden contener sustancias nocivas que afecten químicamente al material de diversas formas (Uribe 1991).

La demanda de agua de los agregados determina el contenido de cemento y pasta para una determinada resistencia del concreto. Debido a que la pasta es la principal fuente de acortamiento y alargamiento en el concreto, agregados con bajas demandas de agua producirían concretos menos propensos a la deformación (acortamiento y alargamiento). Por esto, los agregados que mejor se acomodan en una mezcla producen concretos con menor inestabilidad volumétrica (Alexander 1996).



## 4.- AGUA

### 4.1.- Agua de amasado.

Participa en las reacciones de hidratación del cemento

- Confiere a la trabajabilidad necesaria para su puesta en obra
- La cantidad de agua de amasado debe limitarse al mínimo estrictamente necesario.
  - El agua en exceso se evapora y crea una serie de huecos en el mortero, disminuyendo su resistencia.

– Un déficit de agua de amasado origina masas pocos trabajables y de difícil colocación en obra.

\* Cada litro de agua de amasado añadido de más a un concreto equivale a una disminución de 2 kg de cemento.

### 4.2.- Agua de curado.

Durante el proceso de fraguado y primer endurecimiento del concreto, tiene por objeto:

- Evitar la desecación
- Mejorar la hidratación del cemento
- Impedir una retracción prematura

### 4.3.- Aplicación del agua.

Se debe ser más estricto en la aplicación del agua para curado que en la de un agua para amasado, debido a:

- En el amasado la aportación de agua es limitada y se realiza de una sola vez.
- En el curado la aportación es amplia, de actuación duradera y las reacciones que puedan ocasionar no actúan sobre una masa en estado plástico (Cátedra de Ingeniería Rural).



#### 4.4.- Clasificación por acción agresiva de las aguas.

La agresividad de las aguas para la elaboración y curado del concreto, ésta en función de la ausencia de algunos compuestos en ellas o de la presencia de sustancias químicas perjudiciales disueltas o en suspensión en concentraciones que sobrepasan determinados límites.

A continuación se describe la forma en que actúan.

**Aguas puras.** Son agresivas por su acción disolvente e hidrolizante sobre los compuestos cálcicos del concreto.

**Aguas acidas naturales.** Su acción se debe a la presencia de gas carbónico libre ( $\text{CO}_2$ ) y/o ácidos húmicos que disuelven rápidamente los compuestos del cemento, de los agregados calizos y del concreto.

**Aguas fuertemente salinas.** Cuando estas aguas contienen fuerte concentración de ciertas sales, estas propician que otras muy agresivas se vuelvan más solubles antes de la saturación. Como aguas de mezclado, su acción sobre la cal, es que interrumpen las reacciones de fraguado del cemento y cuando se emplean para curado, puede ejercer acción disolvente sobre los componentes cálcicos del concreto.

**Aguas alcalinas.** Estas producen la hidrólisis de ciertos compuestos del cemento por los cationes alcalinos y pueden ser nocivas para los cementos portland, los cuales sufren un ataque corrosivo con aguas de esta naturaleza ya que los cationes alcalinos tienen una acción sobre los aluminatos cálcicos hidratados y sobre los iones de calcio.

**Aguas sulfatadas (Selenitosas).** Estas aguas pueden considerarse las más agresivas, puesto que la solubilidad de la cal y el yeso en ellas es mayor que en las aguas puras, y en particular este efecto se incrementa en las aguas fuertemente cloruradas que con la presencia de los cloruros alcalinos favorecen la solubilidad de varias sales agresivas. Por otra parte en determinadas concentraciones puede ejercer una acción disolvente sobre los componentes del cemento y del concreto, y su agresividad es aún mayor en el caso del concreto armado.



## COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MORTEROS DE ALBAÑILERÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN

**Aguas magnésicas.** Las aguas magnésicas que contienen sulfato de magnesio, son las más agresivas por la solubilidad de este y su tendencia a fijar la cal formando hidróxido de magnesio y yeso insoluble. Cuando se encuentra disuelto en el agua de mezclado en fuertes dosis, su acción sobre la cal es la que interrumpe el fraguado y esta acción es mayor en el caso de los cementos Pórtland con alto contenido de aluminato tricálcico.

**Agua de mar.** La acción de las aguas de mar es muy compleja, su proceso de ataque es lento y menos agresivo a la de los sulfatos debido a la acumulación superficial de calcita, formada por la reacción de la cal del cemento con el bicarbonato de calcio que contiene el agua de mar. El empleo del agua de mar en concretos simples produce eflorescencias, en el concreto reforzado y/o presforzado aumenta el peligro de la corrosión del acero por lo que no debe usarse para estos fines.

**Aguas recicladas.** Estas aguas pueden ser agresivas si contienen sulfatos, cloruros y álcalis en concentraciones considerables. Por otra parte si tiene gran cantidad de sólidos en suspensión, y estos si no se toman en consideración, el concreto puede causar los defectos propios del exceso de finos.

**Aguas industriales.** Las aguas residuales de las instalaciones industriales, generalmente son perjudiciales para el concreto, ya que contienen iones sulfatos ( $SO_4$ ), ácidos orgánicos e inorgánicos que atacan a todos los tipos de cemento, de estos los más resistentes son los que no contienen cal como: los aluminosos, los puzolanicos y los de escoria de alto horno con bajo contenido de Clinker.

**Aguas negras.** Dada la complejidad de la composición de las aguas negras no es recomendable el uso de ellas en el concreto, ya que sus efectos son imprevisibles, solo podrían ser utilizadas aquellas que previamente han sido tratadas adecuadamente y que contengan sustancias perjudiciales dentro de los límites que se especifican en la norma (NMX-C-122-ONNCCE-2004).



## 5.- PRUEBAS EN EL MORTERO.

### 5.1.- Pruebas en el mortero endurecido.

#### 5.1.1- Definición de pruebas no destructivas.

Una definición general de prueba no destructiva es una revisión, prueba, o evaluación realizada en algún tipo de objeto sin cambiar o alterar dicho objeto en alguna forma, para determinar la ausencia o presencia de condiciones o discontinuidades que puedan tener un efecto en la utilidad del objeto. Las pruebas no destructivas también pueden realizarse para medir otras características de prueba del objeto como tamaño, dimensión, configuración, estructura, incluyendo contenido de aleación, dureza, tamaño de grano, etc. (Charles, 2001).

#### 5.1.2.- Prueba de resistividad eléctrica.

La resistividad eléctrica es una propiedad de cada material, y corresponde al recíproco de su conductividad. 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. Es una propiedad de cada material, y corresponde al recíproco de su conductividad; su unidad de medida es el ohm-cm u ohm-m. En cuanto a materiales y equipos puede efectuarse en el laboratorio sobre testigos de concreto extraídos de la estructura o directamente sobre la estructura en campo. (Torres Acosta et al., 2010).

#### 5.1.3.- Prueba de velocidad de pulso ultrasónico.

Este es un ensayo no destructivo que tiene como objetivos principales los siguientes puntos:

- Verificar la homogeneidad, es decir, la uniformidad y calidad relativa del mortero.
- Detectar las fallas internas, es decir, la presencia de vacíos, introducidas durante la fabricación, la profundidad de las fisuras, y otras imperfecciones.
- Monitorear las variaciones de las propiedades del mortero a lo largo del tiempo, debido a la agresividad del medio.

La velocidad de pulso ultrasónico se define 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. El tiempo entre la descarga inicial y la recepción del pulso se mide electrónicamente. La longitud de la trayectoria entre los transmisores, dividida entre el tiempo de viaje, da la velocidad promedio de la propagación de onda. (Torres Acosta et al., 2010).

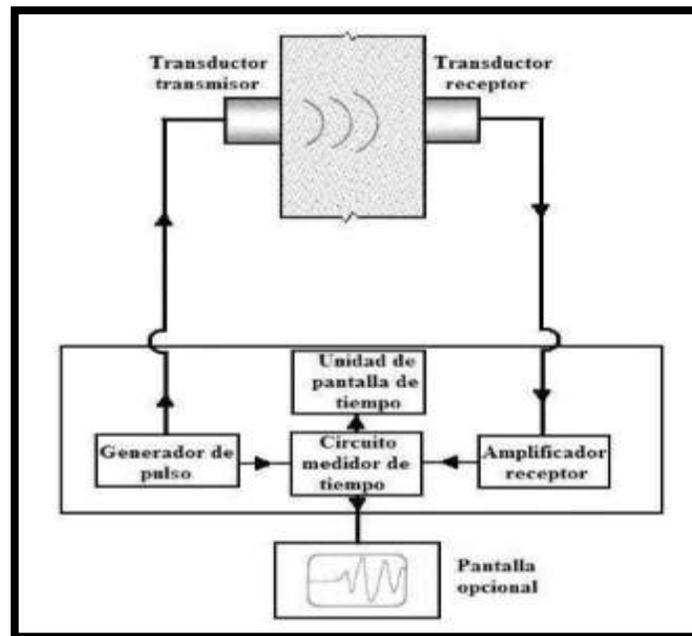
Previo a la realización de la prueba de pulso ultrasónico, se deberá verificar que los especímenes de mortero a ser ensayados, tengan la superficie plana, lisa, exenta de suciedad y carbonatación. En el caso de que la superficie no sea suficientemente lisa deberá regularizarse a través de procedimientos mecánicos, o con una capa de pasta de cemento, yeso o resina epóxica con un espesor mínimo para no interferir la medida, y facilitar el acoplamiento de los transductores.

#### 5.1.4.-Instrumento de prueba de velocidad de pulso.

El instrumento de prueba consiste de un medio para producir un pulso de onda en el concreto (generador y transmisor de pulso) y un medio de sensibilidad de llegada de pulso (receptor) y medir con precisión el tiempo tomado por el pulso que viaja a través del concreto. El equipo puede ser conectado a un osciloscopio o a otro dispositivo de pantalla, para observar la naturaleza del pulso recibido. En la Ilustración 6 se muestra un diagrama esquemático. Se tiene una descripción del método en la norma ASTM C597, (2003). Se tienen equipos portátiles de prueba de velocidad de pulso ultrasónico, los cuales son simples de operar, además pueden incluir baterías recargables o una unidad de carga. Típicamente, los tiempos de pulso son de hasta  $6500\mu\text{s}$  y pueden ser medidos con una resolución de  $0.1\mu\text{s}$ . La medición del tiempo de viaje es promediada. El instrumento cuenta con 2 transductores, uno para recibir y uno para transmitir el pulso ultrasónico. Estos transductores tienen frecuencias de 25 a 100kHz y son los usados para realizar pruebas en el concreto. Se tienen también transductores con diferentes frecuencias de resonancia para aplicaciones especiales: transductores de alta frecuencia (arriba de 100kHz) son usados para muestras pequeñas, trayectorias relativamente cortas, o concreto de alta resistencia, mientras que los transductores de bajas frecuencias (por debajo de 25kHz) son usados para especímenes grandes y trayectorias relativamente grandes, concreto con tamaño de agregado grande. Estos transductores principalmente generan ondas de compresión en una

frecuencia predominante, con la mayor parte de la energía de onda dirigida a lo largo del eje normal a la cara del transductor.

**Ilustración 6. Diagrama esquemático del circuito de prueba de velocidad de pulso (Malhotra and Carino, 2004).**



### 5.1.5.- Densidad.

Una de las propiedades de los sólidos, así como de los líquidos e incluso la de los gases es la medida del grado de compactación de un material: su densidad.

La densidad es una medida de cuanto material se encuentra comprimido en un espacio determinado; es decir la cantidad de masa por unidad de volumen.

La densidad del mortero varía dependiendo de la cantidad y la densidad del agregado, la cantidad de aire atrapado (ocluido) o intencionalmente incluido y las cantidades de agua y cemento. Por otro lado, el tamaño máximo del agregado influye en las cantidades de agua y cemento. Al reducirse la cantidad de pasta (aumentándose la cantidad de agregado), se aumenta la densidad.

La densidad del mortero dependerá fundamentalmente de la que tengan sus componentes: arenas, adiciones, etc. También es determinante la granulometría y volumen que éstos ocupen en su



dosificación. Además, incide en la densidad la relación agua/cemento del mortero. A medida que aumenta dicha relación más poroso es el mortero. Se considera que un mortero es ligero, cuando su densidad es igual o menor que 1,300 kg/m<sup>3</sup>.

Para la hidratación del cemento en el mortero sería suficiente incorporarle una pequeña cantidad de agua, sin embargo, de esta forma se obtendrían consistencias demasiado secas y no trabajables. Por ello es necesaria mayor cantidad de agua de amasado que la estrictamente necesaria para el fraguado.

#### 5.1.6.- Gravedad específica.

La definición de gravedad específica o peso específico es la relación entre la densidad de una sustancia y la de la otra, para sólidos y líquidos la relación se hace con base al agua. El peso específico estará relacionado con la gravedad y el campo electromagnético en las distancias atómicas. La gravedad específica es una medida relativa de la densidad de un elemento y dependerá de la concentración de masa por unidad de volumen de cada elemento. Dicha concentración de masa estará efectuada por la estructura tridimensional molecular y número másico de los átomos. (Molina, 2008, pág. 52)

#### 5.1.7.- Absorción del agua.

Afecta a los morteros que quedan expuestos directamente a la lluvia. Su importancia radica en que la absorción determina la permeabilidad del mortero que forma las juntas de una fábrica. Si el mortero es permeable al agua, transmitirá ésta hacia el interior originando lo consiguiente aparición de humedades por filtración. Además, con la succión del agua exterior se favorece el tránsito de partículas o componentes no deseables para la durabilidad del conjunto constructivo, como el caso de las eflorescencias.

La absorción depende de la estructura capilar del material, por tanto, cuanto más compacto sea un mortero, menor será la red capilar y, en consecuencia, menor absorción presentara. La incorporación de aditivos hidrofugantes, plastificantes y airantes también contribuye notablemente a disminuir la absorción capilar en los morteros que lo incorporan. (Rodríguez y Mora, 2003).



## 5.2.- Definición de pruebas destructivas.

Las pruebas destructivas son aquellas en las que los especímenes sufren cambios irreversibles como producto de la prueba. Los especímenes se usan una vez y se descartan. En muchos casos, los especímenes deben ser maquinadas y modificadas para adecuarse a estándares antes de la prueba en sí.

### 5.2.1.- Determinación de la resistencia a compresión simple.

La resistencia mecánica del cemento endurecido es la propiedad del material que posiblemente resulta más obvia en cuanto a los requisitos para usos estructurales. Por tanto, no es sorprendente que las pruebas de resistencia se incluyan en todas las especificaciones del cemento. Esta propiedad depende de la cohesión de la pasta de cemento, de su adhesión a las partículas de los agregados y, en cierto grado, de la resistencia del agregado mismo. Para determinar la resistencia del cemento se utilizan morteros de cemento-arena; y en algunos casos, concretos de proporciones determinadas hechas con materiales específicos bajo control estricto.

Existen varias pruebas para determinar la resistencia: tensión directa e indirecta; a compresión directa; y flexión. La prueba de tensión directa solía aplicarse comúnmente; pero la tensión pura es difícil de aplicar, y los resultados mostraban variaciones relativamente grandes. Más aún, puesto que las técnicas estructurales están diseñadas principalmente para aprovechar la buena resistencia del concreto a la compresión, la resistencia a la tensión del cemento, a menudo reviste menos interés que a la resistencia a la compresión. Por todas estas razones, las pruebas de tensión han dado lugar paulatinamente a las de compresión. Existen dos métodos estándar para probar la resistencia a la compresión del cemento: uno utiliza mortero; y otro, concreto. Esta prueba puede ser considerada como una de las propiedades más importantes y necesarias para establecer una valuación general de la estructura, tanto desde el punto de vista de durabilidad como de la capacidad de resistencia mecánica. La resistencia a la compresión del mortero corresponde a la tensión máxima de ruptura general de compresión axial en MPa, que puede soportar un testigo (Torres Acosta, et al., 2010).



### 5.2.2.- Determinación de la resistencia a flexión

El esfuerzo de flexión puro o simple se obtiene cuando se aplican sobre un cuerpo pares de fuerzas perpendiculares a su eje longitudinal, de modo que provoquen el giro de las secciones transversales con respecto a las inmediatas.

Para realizar el ensayo se necesita vigas simplemente apoyadas, con la carga concentrada en un punto medio (flexión práctica u ordinaria).

En estas condiciones además de producirse el momento de flexión requerido, se superpone a un esfuerzo cortante, cuya influencia en el cálculo de la resistencia del material varía con la distancia entre apoyos, debido a que mientras los momentos flectores aumentan o disminuyen con esta, los esfuerzos cortantes se mantienen constantes, como puede comprobarse fácilmente en la figura, por lo que será tanto menor su influencia cuanto mayor sea la luz entre apoyos.

Para ensayos más precisos la aplicación de la carga se hace por intermedio de dos fuerzas con lo que se logra “flexión pura”.

Si se inicia la fractura en la superficie de la tensión en el tercio medio de la longitud del tramo, el Módulo de ruptura se calcula de la siguiente manera:

$$R = \frac{LP}{db^2} \quad (1)$$

Dónde:

R = Módulo de ruptura, kgf/cm<sup>2</sup>

P = Máxima carga aplicada indicada por la máquina de prueba, kgf.

L = Longitud de la muestra, cm.

b = Ancho promedio de la muestra, cm.

d = Espesor promedio de la muestra, cm

## COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MORTEROS DE ALBAÑILERÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN

Si la fractura se produce en la superficie la tensión fuera del tercio medio de la longitud de tramo y en no más que 5% de la longitud del tramo, el Módulo de ruptura se calcula de la siguiente manera:

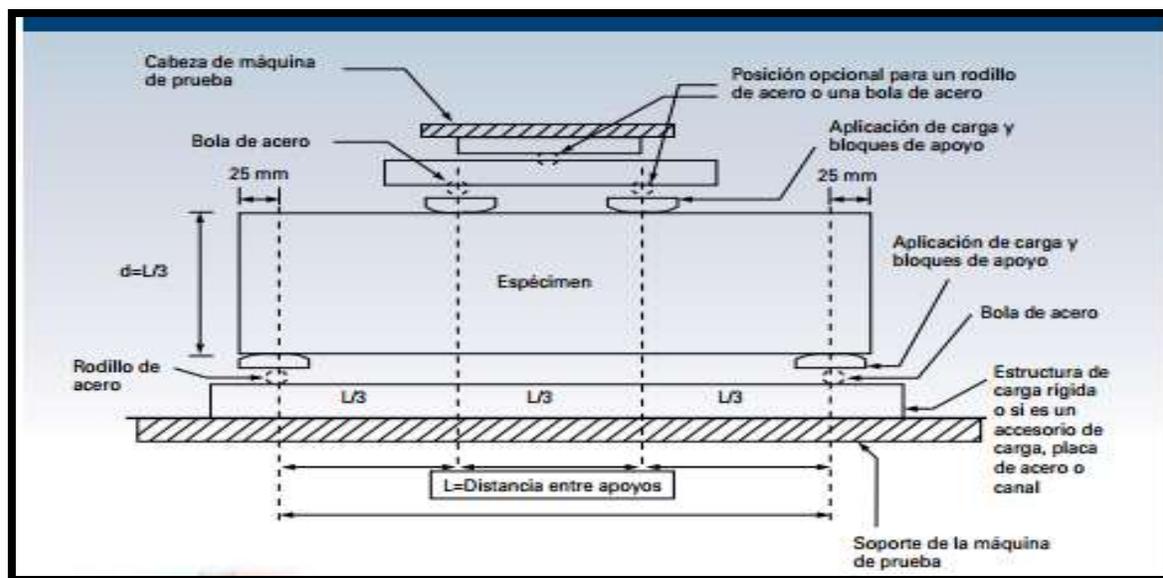
$$R = \frac{3Pa}{bd^2} \quad (2)$$

Dónde:

a = Distancia media entre la línea de fractura y el soporte más cercano medida en la superficie de tensión de la viga, cm.

Si la fractura se produce en la superficie la tensión fuera del tercio medio de la longitud de tramo y en más de un 5% de la longitud del tramo, se deberán desechar los resultados de la prueba.

### Ilustración 7. Aparato para la prueba de resistencia a la flexión con carga en los tercios del claro.





### 5.2.3.- Adherencia.

La adherencia es la capacidad del mortero para fijarse al soporte. Esta adherencia se ve mejorada en algunos casos por la existencia en su formulación de resinas sintéticas. La mayor o menor adherencia a un soporte depende, además del cemento y de las resinas, del estado, rugosidad y preparación previa que se haga del mismo, y de la capacidad de retención de agua del mortero

La adherencia es una propiedad tanto del mortero fresco como del endurecido: En el mortero fresco la adherencia se basa en las propiedades reológicas de la pasta de cemento. Para comprobarlo basta con aplicar una capa de mortero entre dos piezas a unir y separarlas al cabo de unos minutos. Una buena adherencia del mortero se manifiesta al permanecer adherida pasta del mismo a la superficie de las dos piezas una vez separadas. En el mortero endurecido la adherencia depende fundamentalmente de la naturaleza de la superficie del soporte, de su porosidad y rugosidad, así como de la granulometría de la arena empleada.

La adherencia se basa en la resistencia a tracción de la unión entre un mortero y un soporte definido. Esta propiedad se determina por un ensayo de arrancamiento directo perpendicular a la superficie del mortero.

Lógicamente, la adherencia depende de tres aspectos fundamentales:

- El mortero.
- El soporte y su preparación.
- La forma de aplicación.

Constituye una propiedad fundamental pues determina la unión solidaria entre las piezas o partes unidas influyendo en la resistencia del conjunto de, por ejemplo, una fábrica. Así mismo, una baja adherencia puede causar desprendimientos de las piezas de revestimientos interiores o exteriores fijadas por el mortero. En el caso de revocos los desprendimientos del mortero ocasionan la desprotección de la fachada.

Existen dos tipos adherencia: química, basada en los enlaces, y física, fundamentada en el anclaje mecánico entre las piezas (adhesión).



La adherencia de tipo físico-mecánico está fundamentada en la trabazón entre sólidos. El mortero se aplica en estado plástico sobre la superficie del soporte. Ésta debe ofrecer suficientes posibilidades de anclaje -porosidad-, para que el cemento disperso y disuelto del mortero penetre en los poros del soporte. Después, al irse formando las agujas de cemento hidratado e ir completándose el proceso de fraguado, se crean nuevos puntos de anclaje entre el mortero y la pieza sobre la que se une.

Por tanto, al aplicar un mortero sobre un soporte o sustrato, para la formación de un revestimiento es imprescindible que el mortero ancle en la superficie que lo recibe. No son efectivas resistencias elevadas en el mortero si no se produce este efecto.

Los sustratos muy absorbentes sustraen el agua del mortero y no permiten la hidratación del cemento en la superficie que los une. Por el contrario, los sustratos totalmente impermeables impiden la formación del suficiente agarre entre ambos materiales.

La adherencia química se fundamenta en la formación de enlaces químicos localizados en la superficie de contacto entre el mortero y el sustrato. Este tipo de adherencia en los morteros está causada por el empleo de aditivos de resinas poliméricas. En estos casos resulta en combinación con la adherencia mecánica o adhesión (Rodríguez y Mora, 2003).

### 5.3.- Pruebas en pasta de cemento

La fabricación del cemento requiere de controles rigurosos en su producción; por lo que se realizan diversas pruebas de calidad en los laboratorios de fábricas donde se elabora este producto para asegurarse de que posea la calidad que se especifica, y de que esté dentro de los requisitos que marcan las normas de cada país. Sin embargo, es conveniente hacer pruebas de aceptación o lo que es más común, examinar las propiedades del cemento que se va a usar para alguna aplicación especial.

La determinación de los tiempos de fraguado inicial y final de las pastas de cemento se realizarán en una mezcla de cemento con consistencia normal. Por tanto, es necesario determinar para cualquier pasta de cemento, el contenido de agua necesaria para producir la consistencia normal (Torres Acosta et al., 2010).



### 5.3.1.- Consistencia normal

Al agregar agua al cemento se produce una pasta, contiene fluidez a medida que se le va aumentando el contenido de agua. La consistencia normal es un estado de fluidez alcanzado por la pasta del cemento, que tiene una propiedad óptima de hidratación. Es esencial que la pasta, una vez que ha fraguado, no sufra gran cambio en su volumen ya que en condiciones de esfuerzo podría ocasionar rompimiento del cemento endurecido. En particular, no debe haber una expansión apreciable; la cual, en condiciones de esfuerzo podría ocasionar un rompimiento de la pasta de cemento endurecida (Torres Acosta et al., 2010).

### 5.3.2 Tiempos de fraguado inicial y final

El fraguado es el fenómeno por medio del cual la pasta de cemento cambia de plástico ha endurecido, y es posterior al fenómeno de hidratación. El tiempo de fraguado inicial es el transcurrido desde la adición del agua hasta alcanzar el estado de plasticidad y semidureza; en otras palabras, es el tiempo del que se dispone para fabricar, transportar, vibrar y colocar el concreto en obra. Por otro lado, el tiempo de fraguado final va desde el fraguado inicial hasta que se endurece la pasta, y se vuelva indeformable. El tiempo de fraguado se mide mediante un aparato de Vicat con distintos accesorios de penetración (Torres Acosta et al., 2010).

### 5.3.3.- Fluidez

Con esta prueba se calcula el porcentaje de agua óptimo necesario que debe agregarse a las mezclas para fabricar los cubos de mortero. La cantidad óptima de agua de mezclado para los cementos deberá ser tal que produzca una fluidez de  $110 + 5\%$ , (Torres Acosta et al., 2010).



## 6.- DESARROLLO EXPERIMENTAL

### 6.1.- Caracterización de la arena

Es importante conocer características del material que se utiliza para tener una referencia, puesto que para el diseño de mezcla con mortero no existe algún método a seguir.

En este caso la arena que se empleó para realizar el mortero de los especímenes de prueba, es arena de río, proveniente del río “Huajumbaro” localizado en la región de Huajumbaro Michoacán.



#### **Ilustración 8. Arena del río Huajumbaro que fue la arena que se utilizó para la elaboración de los especímenes.**

Esta arena fue secada y cribada, para utilizar el material que pasa la malla N° 16 y la que se retiene en la malla N°30. Posteriormente la arena se encostalo para evitar que se humedezca y no afecte el proporcionamiento.



**Ilustración 9. Secado al sol de la arena y cribado de la arena que se requería el material que pasa la malla 16 y se retiene en la 30.**

### 6.1.1.- Cuarteo en arena

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.

Cucharones.

Palas.

Balanza o báscula.

Divisor de muestras.

Traza de plástico flexible de 40 por 40 centímetros.

Procedimiento.

Existen 3 procedimientos usuales para efectuar el cuarteo de las muestras, el método utilizado fue por medio del procedimiento por cuarteo con palas.

Proporcionamiento por cuarteo con palas:

- 1.- Se vacía la muestra de material en uno de los extremos de la charola grande.
- 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 aplanan 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, 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 10. Realización del cuarteo en arena.**

### **6.1.2.- Humedad superficial y humedad de absorción en arenas.**

**Objetivo:** Determinar la capacidad máxima de absorción que tiene una arena expresada en porcentaje.

Equipo.

Una muestra representativa de aproximadamente 2 Kg.



COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MORTEROS DE ALBAÑILERÍA  
PARA LA CONSTRUCCIÓN

Una balanza con aproximación al décimo de gramo.

Una parrilla eléctrica.

Charolas metálicas.

Un cono metálico.

Un pizón.

Una espátula.

Procedimiento.

1.- La muestra de 2 Kg. se pone a saturar durante 24 horas, como mínimo.

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.
- 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 seca superficialmente y si la arena mantiene la forma de cono, significa que todavía tiene agua en exceso, por lo tanto hay que seguir secando el material hasta que se obtenga el secado superficial. Conforme vaya perdiendo la humedad la muestra hay que realizar más continuamente el procedimiento con el cono para evitar que se seque el exceso.

3.- Cuando la arena está seca superficialmente hay que pesar una muestra de 300 gramos, registrando este peso como peso saturado y superficialmente seco (pH).

4.- La muestra de 300 gramos, se coloca en una charola para secarla hasta peso constante, o sea, hasta eliminar completamente el agua.



5.- Para saber cuándo el material está seco se coloca el cristal sobre el material, si no lo empaña el cristal hay que seguir secando el material para secarlo completamente.

Cálculos:

$$\% \text{ Humedad de absorción} = \frac{P_h - P_s}{P_s} * (100) \quad (3)$$

Dónde:

$P_h$  = Peso saturado y superficialmente seco (gramos).

$P_s$  = Peso seco del material (gramos).



**Ilustración 11. Secado artificial de la muestra representativa de arena.**



Resultados.

**Tabla6. Resultados obtenidos de la prueba de humedad superficial en arenas.**

<b>Determinacion de la humedad actual</b>		
Ph(gr)	Ps(gr)	% de H.A.
300	297.6	0.81
300	297	1.01
300	296.1	1.32
<b>Promedio=</b>		1.04

**Tabla7. Resultados obtenidos de la prueba de absorción en arenas.**

<b>Absorción</b>		
Peso Humedo (Pw)	300	199.2
Peso Seco (Ps)	288.4	191
Agua Absorbida (Pw-PS)	11.6	8.2
Absorción $\{(Pw-Ps)/Ps\} * 100$	4.02	4.29
<b>Promedio</b>	4.16%	

### 6.1.3.- Peso volumétrico seco y suelto de una arena (PVSS).

Objetivo: Determinar el peso por unidad de volumen de una arena cuando el acomodo de sus partículas es en forma libre o natural.

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 balanza o báscula.

Procedimiento.

## COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MORTEROS DE ALBAÑILERÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN

Se vacía arena dentro del recipiente dejándose caer a una altura medida a partir de la arista superior del recipiente de aproximadamente 5 centímetros, llenado completamente el recipiente hasta colmarlo formando un cono.

Enseguida se enrasa el recipiente con la varilla y se limpia el recipiente de las partículas adheridas en las paredes exteriores procediendo a pesarlo.

Al peso obtenido anteriormente se le resta el peso del recipiente para obtener el peso de la arena.



**Ilustración 12. Llenado y enrasado del material inerte.**

Cálculos:

$$P.V.S.S. = \frac{P}{V} \quad (4)$$

Dónde:

P.V.S.S. = Peso volumétrico seco y suelto ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ).

P = Peso de la arena (gr).

V = Volumen del recipiente ( $\text{cm}^3$ ).

Resultados.



**Tabla 8. Resultados obtenidos de la determinación del peso volumétrico seco y suelto de una arena (P.V.S.S).**

<b>P.V.S.S. (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	
Peso bruto (gr)	16500
Tara (gr)	2930
Peso neto( P) gr	13570
Volumen (V) cm <sup>3</sup>	10600
Peso Volumetrico P/V	1.28

#### **6.1.4.- Peso volumétrico seco y varillado (PVSV).**

Objetivo: Determinar el peso 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 balanza o báscula.

Procedimiento.

Se procede a llenar el recipiente con arena a volteo dejándola caer a una altura aproximadamente de 5 centímetros, el llenado del recipiente debe de hacerse en tres 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. Se enrasa el recipiente con la varilla punta de bala y se limpian todas las partículas que hayan quedado adheridas a las paredes exteriores.

Después de haber realizado los pasos anteriores se pesa el recipiente con el material y se le resta el peso del recipiente para así obtener el peso neto del material.



**Ilustración 12. Llenado y enrasado del material inerte..**

Cálculos:

$$P.V.S.V. = \frac{P}{V} \quad (4)$$

Dónde:

P.V.S.V. = Peso volumétrico seco y varillado ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ).

P = Peso de la arena (gr).

V = Volumen del recipiente ( $\text{cm}^3$ ).

Resultados.



**Tabla 9. Resultados obtenidos de la determinación del peso volumétrico seco y suelto de una arena (P.S.V.S).**

<b>P.V.S.V. (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	
Peso bruto (gr)	17600
Tara (gr)	2930
Peso neto( P) gr	14670
Volumen (V) cm <sup>3</sup>	10600
Peso Volumetrico P/V	1.38

### 6.1.5. Colorimetría en arenas.

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

Equipo:

Dos botellas iguales de vidrio incoloro de 250 a 350 cm<sup>3</sup> con marcas a cada 25 cm<sup>3</sup> (frasco de biberón).

Charolas, parrilla de secado, espátulas, balanza, vasos de precipitado.

Material para las soluciones y vidrio de color normal.

Solución de sosa cáustica 30 gramos por litro de solución normal en agua destilada.

Después de 24 horas se compararán los colores.

Se toma una muestra representativa de arena de 500 gramos aproximadamente.

Se seca hasta peso constante a una temperatura no mayor a 110 °C.

Se coloca la arena seca y fría en una botella (frasco de biberón) hasta 133 cm<sup>3</sup> adicionándole solución de sosa cáustica hasta los 206 cm<sup>3</sup>.

## COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MORTEROS DE ALBAÑILERÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN

Se tapa la botella y se agita fuertemente dos minutos como mínimo posteriormente se dejará reposar 24 horas.

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



**Ilustracion 14. Realizacion de la sosa cáustica y llenado del recipiente.**



**Ilustración 15. Comparación del color del líquido de la botella con el vidrio de color normal.**



Resultados.

Al comparar con la tabla colorimetrica nos da como resultado el numero 4 que se acepta.

#### **6.1.6.- Análisis granulométrico y módulo de finura.**

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.

Equipo:

Un juego de mallas con abertura rectangular o circular del N° 4, 8, 16, 30, 50, 100, 200 y charola con su respectiva tapa.

Una balanza con aproximación al décimo de gramo.

Charolas, espátulas y parrilla eléctrica.

Cepillos de cerdas y alambre.

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 frío, se toman 500 gramos, pesados al décimo de gramo.
- 4.- Se colocan las mallas en orden decreciente (4, 8, 16, 30, 50, 100, 200 y charola), se coloca la muestra de 500 gramos y se tapa.
- 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 y 30 para desalojar el material que se encuentra entre los espacios de la malla, las mallas 50 y 100 se limpiarán con cepillos de cerdas.

COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MORTEROS DE ALBAÑILERÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN

7.- 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 16.** Material que se iba reteniendo en las mallas mencionadas con anterioridad.

**Resultados.**

**Tabla 10.** Resultados obtenidos del análisis granulométrico y módulo de finura en arena.

Análisis Granulométrico en Arena					
	Peso retenido	% Retenido	% Acomulativo	% Que pasa	M.F
8	23.2	4.64	4.64	95.36	3.1
16	52.4	10.48	15.12	84.88	
30	140.2	28.04	43.16	56.84	
50	122.3	24.46	67.62	32.38	
100	99.6	19.92	87.54	12.46	
200	44.2	8.84	96.38	3.62	
Charola	18.1	3.62	100	0	
Suma	500	100			

**Nota:** Según A.S.T.M estamos dentro del rango que establece las especificaciones de granulometría, en cuanto al módulo de finura puede quedar entre 2.3 y 3.1, así que es aceptable.



### 6.1.7 Densidad en arenas.

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.

Probeta graduada.

Balanza con aproximación al décimo de gramo.

Franela.

Charola.

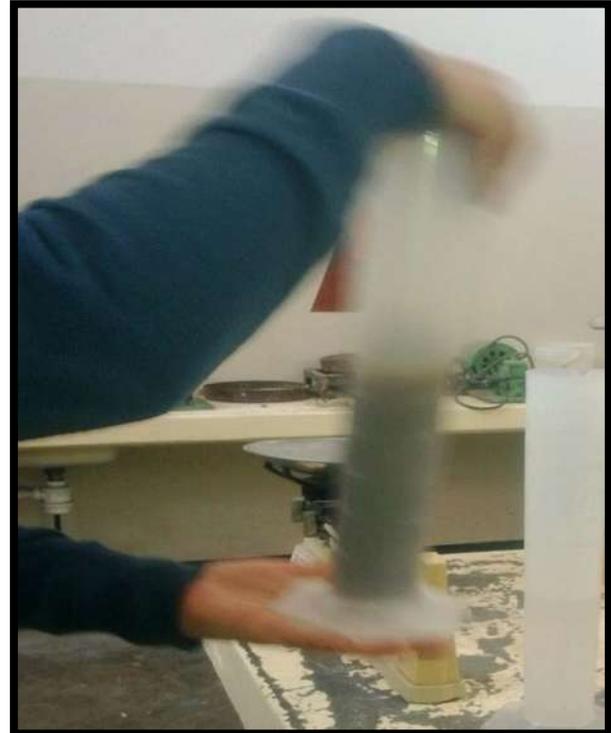
#### Procedimiento.

1.- Se pone a saturar la arena en una charola durante 24 horas al término de este tiempo se seca superficialmente utilizando el procedimiento descrito en la prueba de humedad de absorción con el molde tronco cónico.

2.- En la probeta se coloca un volumen de agua conocido, registrándolo como volumen inicial  $V_i$  en  $\text{cm}^3$ .

3.- Enseguida se pesa una muestra de arena superficialmente seca anotando este valor como peso de la arena ( $P_a$ ) que aproximadamente sea entre 200 y 300 gramos.

4.- Posteriormente se coloca la arena dentro de la probeta, procurando que no salpique agua porque esto nos ocasionaría un error en la prueba, agitando un poco la probeta para expulsar el aire atrapado, esta operación va a provocar un aumento del volumen de agua y vamos a registrar este valor como volumen final.



**Ilustracion 17. Colocacion de la arena dentro de la probeta y se agito posteriormente para expulsar el aire atrapado**

**Cálculos:**

$$\text{Densidad de la arena (DA)} = \frac{Pa}{V_f - V_i} \quad (5)$$

Dónde:

Pa = Peso de la arena saturada y superficialmente seca (gramos).

Pf-Vi = Volumen colocado dentro de la probeta (cm<sup>3</sup>).

**Tabla 11. Resultado obtenido de la prueba de densidad en arena.**

Densidad		
Volumen Desalogado (V)	108	
Peso Humedo (Pw) GR	254.2	231.6
Densidad Relativa Aparente (Pw/V)	2.35	2.32
<b>Promedio</b>	<b>2.34</b>	

## 6.2.- Agua

El agua que se utilizó para la elaboración de las mezclas del mortero y el curado del mismo, fue agua de la red potable de la universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, a la cual se le realizó el análisis correspondiente, de acuerdo a la NMX-C-122-ONNCCE-2004, la cual establece los parámetros ideales que deben cumplir las aguas naturales o contaminadas, diferentes de las potables para emplearse en la elaboración y curado de concreto hidráulico. Dicho análisis se llevó a cabo gracias al apoyo tanto académico y de las instalaciones del laboratorio de ingeniería sanitaria y ambiental perteneciente a la UMSNH.

### 6.2.1 Muestreo.

Consiste en tomar la muestra para verificar si el agua en cuestion cumple con los requisitos de esta norma mexicana, en este caso se tomo una muestra representativa de 10 litros la cual se extrajo del Laboratorio de Materiales, en la seccion de corrosión que fue la fuente principal para la elaboración de los especímenes y el curado de los mismos. Esta muestra se estiqueto y se mantuvo en un lugar a temperatura ambiente.( Ilustración18).



**Ilustración 18. Muestreo y etiquetado del agua en estudio.**

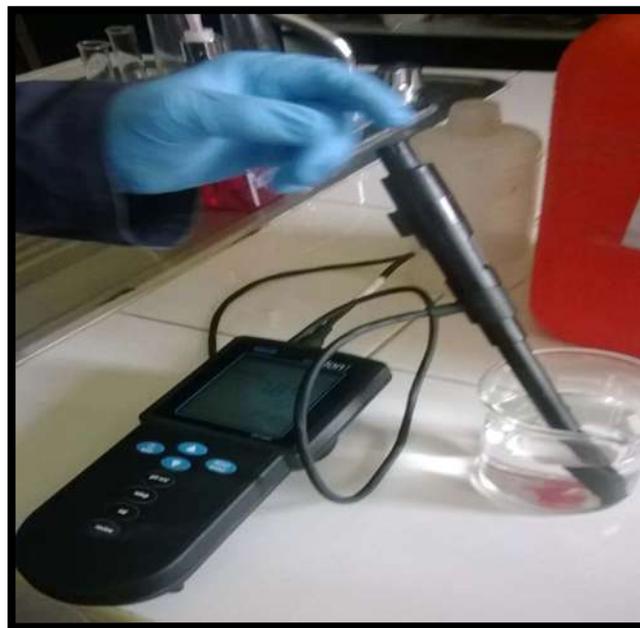
### 6.2.2 .- Obtencion del Ph ( Potencial de hidrogeno), temperatura Y conductividad electrolítica .

Para la determinacion de parametros de campo se utilizaron dispositivos automaticos portatiles que nos permiten de una manera facil y rapida las mediciones de dichos parametros.

La determinacion del Ph en el agua es una medida de la tendencia de su acidez o de su alcalinidad. Un Ph menor de 7.0 indica una tendencia hacia la acidez, mientras que un valor mayor muestra una tendencia hacia lo alcalino.

La temperatura del agua es un parametro importante, en las reacciones quimicas y velocidades de una reaccion.

En un vaso de precipitados se coloco la muestra, a la que se le coloco el electrodo del potenciometro (ilustracion 19 ) este despues de haberlo lavado con agua destilada, se determino el PH procurando que la temperatura fuera ambiente, se anoto el valor observado. En este caso se hicieron 3 determinaciones para la misma muestra. Con el mismo aparato se obtuvo la temperatura.



#### **Ilustración 19. Potenciometro portatil.**

La conductividad electroitica sirve para conocer rapidamente las variaciones de las concentraciones de los minerales disueltos en las muestras de las muestras de aguas crudas o



desechos. En esta prueba se realizo el mismo procedimiento descrito para la obtencion del Ph, pero las mediciones de este se obuvieron con el aparato llamado conductivimetro (Ilustración 20 ).



### **Ilustración 20. Conductivimetro**

#### **6.2.4.- Determinación de los Cloruros.**

Se utilizo un volumen de muestra de 100ml, utilizando las disoluciones de hidroxido de sodio (0.1N) y/o ácido sulfúrico (0.1N), se mezcló y se dejó sedimentar.

Posteriormente se le adiciono 20 gotas de disolucion indicadora de cromato de potasio, se valoro con la disolucion de nitrato de plata hasta que cambio su color de amarillo a naranja rojizo. Como se muestra en la ilustración 21.

**Ilustración 21. Cambio de color de la muestra de amarillo a naranja rojizo.****Calculos**

$$Cl \frac{mg}{l} = \frac{[(A - B) \times N \times 35450]}{ml \text{ de muestra}} \quad (6)$$

Donde:

A = son los ml de solución de nitrato de plata gastados en la valoración de la muestra.

B = son los ml de disolución de nitrato de plata gastados en la valoración del blanco.

N = normalidad del nitrato de plata.

**6.2.5.- Dureza cálcica.**

Se transfirió 20 ml de la muestra a un matraz erlenmeyer a la que se le añadió “ ml de hidróxido de sodio 0.1N y se mezcló. Mientras se mezclaba se le añadió 0.15 g del indicador murexida hasta que se tenga un color rosa. Posteriormente se tituló la disolución de EDTA 0.0089 N agitando continuamente hasta que la disolución cambie de color rosa a púrpura (Ilustración 22).

**Ilustración 22. Titulación de la disolución cambio de color rosa a purpura.**

Cálculos.

$$\frac{meq}{l} (Ca^{2+}) = \frac{V \times N \times 1000}{ml \text{ de muestra}} \quad (7)$$

Donde :

V = ml gastados de EDTA

N = Normalidad del EDTA

**6.2.6.-Dureza total.**

Se transfirió 20 ml de la muestra a un matraz erlenmeyer a la que se le añadió 2 ml del indicador negro de ericromo T, la mezcla debe tener un color vino rojizo y se mezcló. Mientras se mezclaba se le añadió 0.15 g del indicador murexida hasta que se tenga un color rosa. Posteriormente se tituló la disolución de EDTA 0.0089 N agitando continuamente hasta que la disolución cambie de color rojizo a azul (Ilustración 23).

**Ilustración 23. Titulación de la disolución cambio de color rojizo a azul**

Cálculos.

$$\frac{meq}{l} (Ca^{2+} \text{ y } Mg^{2+}) = \frac{V \times N \times 1000}{ml \text{ de muestra}} \quad (8)$$

Donde :

V = ml gastados de EDTA

N = Normalidad del EDTA

**6.2.7.-DQO.**

El metodo de medicion utilizado para la determinacion de este indicador, es la digestion de una muestra con dicromato de potasio en medio fuertemente acido, en presencia de un catalizador y porterior titulacion del exceso de oxidante con un agente reductor o medicion espectrofotometrica de la intensidad del color remenente del dicromato de potasio.

Lo primero que se hizo fue precalentar el diogestor de DQO a 150° C para despues colocar cuidadosamente en los tubos de reaccion 3.5 ml de solucion concentrada de sulfato de plata como se muestra en la ilustración 24, a la que se le sumaron 1.5 ml de la solucion de digestion A que ya tenian

preparada en el laboratorio, posteriormente se tapo y se agito con mucho cuidado ya que la solución suelta vapor buscando homogenizar la muestra para añadirle 2.5 ml de la muestra a analizar, se vuelve a atapar y a mezclar cuidadosamente.



#### **Ilustración 24. Colocación de la solución concentrada de sulfato de plata.**

Con el mismo procedimiento mencionado con anterioridad se prepara el blanco pero en lugar de añadirle los 2.5 ml de la muestra, se le añadió agua destilada.

Ya teniendo preparados los dos tubos a analizar se colocaron en el reactor de DQO (Ilustración 25) y se dejaron reflujar a 150°C por un tiempo de 2 horas.



### Ilustración 25. Reactor de DQO

Se realizaron 3 tubos con la muestra para poder promediar, transcurridas las 2 horas se retiraron y se dejaron enfriar a temperatura ambiente, como se muestra en la ilustración 26, para después introducirlos en el espectrofotómetro, pero antes se limpiaron cuidadosamente los tubos para que esto no interviniera en el resultado. Se insertaron los tubos y se tomaron las lecturas correspondientes.



### Ilustración 26. Tubos de la reacción enfriándose a temperatura ambiente.

### 6.2.8.- Sólidos suspendidos totales Y sólidos disueltos totales

Lo primero que se hizo fue introducir las cápsulas a la mufla a una temperatura de  $550^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$ , durante 20 min como mínimo. Después de este tiempo transferirlas a la estufa a  $103^{\circ}\text{C} - 105^{\circ}\text{C}$  aproximadamente 20 min. Se sacan y se dejan enfriar a temperatura ambiente dentro de un desecador. Para poder pesar las cápsulas y registrar los datos. Se repite el ciclo hasta alcanzar un peso constante que no haya una variación en el peso mayor a 0,5 mg y se registra.(ilustración 27).



#### **Ilustración 27. Se pesa la muestra hasta adquirir un peso constante.**

Preparación de los crisoles Gooch

Introducir el filtro de fibra de vidrio en el crisol con la cara rugosa hacia arriba, mojar el filtro con agua para asegurar que se adhiera al fondo del crisol. Los crisoles se introducen a la mufla a una temperatura de  $550^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$ , durante 20 min como mínimo. Después de este tiempo transferirlos a la estufa a  $103^{\circ}\text{C} - 105^{\circ}\text{C}$  aproximadamente 20 min. Sacar y enfriar a temperatura ambiente dentro de un desecador. Pesar los crisoles y repetir el ciclo hasta alcanzar el peso constante, el cual se obtiene hasta que no haya una variación en el peso mayor a 0,5 mg.



**Ilustracion 28. Los crisoles se introducen a la mufla a una temperatura de  $550^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$ .**

Para la preparación de la muestra se sacan del sistema de refrigeración y permitir que alcancen la temperatura ambiente. Agitar las muestras para asegurar la homogeneización de la muestra.

Medición para sólidos totales (ST) y sólidos totales volátiles(SVT).

Determinación para sólidos totales (ST).

En función de la cantidad de sólidos probables tomar una cantidad de muestra que contenga como mínimo 25 mg/L de sólidos totales, generalmente 100 mL de muestra es un volumen adecuado. Transferir la muestra a la cápsula de porcelana que previamente ha sido puesta a peso constante. Llevar a sequedad la muestra en la estufa a  $103^{\circ}\text{C}$ - $105^{\circ}\text{C}$ . Enfriar en desecador hasta temperatura ambiente y determinar su peso hasta alcanzar peso constante.

**Ilustracion 29. El desecador donde se dejan enfriar la muestra a temperatura ambiente.**

Determinación para sólidos totales volátiles(SVT):

Introducir la cápsula conteniendo el residuo a la mufla a  $550^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$  durante 15 min a 20 min, transferir la cápsula a la estufa a  $103^{\circ}\text{C} - 105^{\circ}\text{C}$  aproximadamente 20 min, sacar la cápsula, enfriar a temperatura ambiente en desecador y determinar su peso hasta alcanzar peso constante. Registrar como peso.

Sólidos suspendidos totales (SST)

Determinación de los sólidos suspendidos totales (SST):

Medir con una probeta, un volumen adecuado de la cantidad seleccionada de muestra previamente homogeneizada la cual depende de la concentración esperada de sólidos suspendidos. Filtrar la muestra a través del crisol Gooch preparado anteriormente aplicando vacío, lavar el disco tres veces con 10 mL de gua, dejando que el agua drene totalmente en cada lavado. Suspender el vacío y secar el crisol en la estufa a una temperatura de  $103^{\circ}\text{C}$  a  $105^{\circ}\text{C}$  durante 1 h aproximadamente. Sacar el crisol, dejar enfriar en un desecador a temperatura ambiente y determinar su peso hasta alcanzar peso constante.



### Ilustracion 30 . Filtración de la muestra

#### Sales disueltas totales (SDT)

La determinación de las sales disueltas totales es por diferencia entre los ólidos totales menos sólidos suspendidos totales.

Cálculos.

Calcular el contenido de sólidos totales de las muestras como sigue:

$$ST = (G1 - G) * 1000 / V \quad (9)$$

donde:

ST = son los sólidos totales, en mg/L;

G1 = es el peso de la cápsula con el residuo, después de la evaporación, en mg;

G = es el peso de la cápsula vacía, en mg a peso constante, y

V = es el volumen de muestra, en mL.



COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MORTEROS DE ALBAÑILERÍA  
PARA LA CONSTRUCCIÓN

Calcular el contenido de sólidos totales volátiles de las muestras como sigue:

$$SVT = (G1 - G2) * 1\ 000 / V \quad (10)$$

donde:

SVT = es la materia orgánica total, en mg/L;

G2 = es el peso de la cápsula con el residuo, después de la calcinación, en mg,

V = es el volumen de muestra, en mL.

Calcular el contenido de sólidos suspendidos totales de las muestras como sigue:

$$SST = (G4 - G3) * 1\ 000 / V \quad (11)$$

donde:

SST = son los sólidos suspendidos totales, en mg/L;

G3 = es el peso del crisol con el disco a peso constante, en mg;

G4 = es el peso del crisol con el disco y el residuo seco, en mg, y

V = es el volumen de muestra, en mL.

Calcular el contenido de sólidos suspendidos totales de las muestras como sigue:

$$SST = (G4 - G5) * 1\ 000 / V \quad (12)$$

donde:

SST = son los sólidos suspendidos totales, en mg/L;

G5 = es el peso del crisol con el residuo, después de la calcinación, en mg;

V = es el volumen de muestra, en mL.

Calcular el contenido de sales disueltas totales de las muestras como sigue:



COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MORTEROS DE ALBAÑILERÍA  
PARA LA CONSTRUCCIÓN

$$SDT = ST - SST \quad (13)$$

donde:

SDT = son las sales disueltas totales, en mg/L

ST = son los sólidos totales, en mg/L

SST = son los sólidos suspendidos totales, en mg/L

**Tabla 12. Resultado del análisis del agua elaborado en el Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la UMSNH.**

	<p>UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental</p>	
<p>Asunto: Reporte de análisis de calidad de agua Hoja 1 de 2</p>		
<p>M.A. Wilfrido Martínez Molina Asesor de la Tesis</p>		
<p>A't'n: Tesista, pasante de Ing. Civil Amayrani Citlaly Pedraza Pérez</p>		
<p>PRESENTE</p>		
<p>Por este conducto, presento a ustedes los resultados de los estudios de calidad del agua, practicados a las muestras entregadas en este laboratorio el día 19 de mayo del 2014. El muestreo, transporte y preservación estuvo a cargo de los solicitantes. A las muestras se les practicaron los análisis solicitados, según conveniencia de los solicitantes.</p>		
<p>Muestra 1: Agua Potable de la Red de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Sitio de muestreo: Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil Tipo de muestreo: Simple Procedencia del agua: Agua Potable Fecha de muestreo: 18 de mayo del 2014 Fecha de recepción de muestra: 18 de mayo del 2014 Fecha de análisis: 19 al 23 de mayo del 2014 Tipo de agua: Agua Potable para Concretos</p>		



COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MORTEROS DE ALBAÑILERÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN

- Resultados del laboratorio:

Análisis de Laboratorio: Muestra "Agua Potable para Concretos"				
PARÁMETRO	RESULTADO	LIMITE PERMISIBLE NMX-C-122-ONNCE-2004	UNIDADES	MÉTODO UTILIZADO
pH	7.86	>6	U pH	NMX-AA-008-SCFI-2000
Temperatura	29.8	-----	°C	NMX-AA-007-SCFI-2000
Conductividad Eléctrica	456	-----	µs/cm	NMX-AA-093-SCFI-2000
Sólidos Disueltos Totales	352	3500	mg/L	NMX-AA-034-SCFI-2001
Oxígeno Disuelto	3.37	-----	mg/L	NMX-AA-012-SCFI-2001
Sulfatos	5	3000	mg/L	NMX-AA-074-1981
Cloruros	13.36	400	mg/L	NMX-AA-073-SCFI-2001
Dureza cálcica	21	-----	(mg/l CaCO <sub>3</sub> )	Volumétrico
Sales de magnesio	5	100	(mg/l CaCO <sub>3</sub> )	Volumétrico

Edificio PIC Ciudad Universitaria  
 Tel. (443) 322 3500 Ext. 4344  
 Morelia Michoacán  
 Fax (443) 304 1002



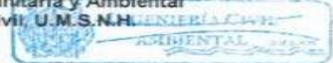
Análisis de Laboratorio: Muestra "Agua Potable para Concretos"				
PARÁMETRO	RESULTADO	LIMITE PERMISIBLE NMX-C-122-ONNCE-2004	UNIDADES	MÉTODO UTILIZADO
Dureza total	26	-----	(mg/l CaCO <sub>3</sub> )	NMX-AA-072-SCFI-2001
DQO total	9	-----	mg/L	NMX-AA-030-SCFI-2001
Sólidos Suspendidos Totales	3448	2000	mg/L	NMX-AA-034-SCFI-2001

Sin otro particular por el momento reciban un cordial saludo.

Morelia Mich., a 24 de junio de 2014

ATENTAMENTE

Dr. Roberto García Acevedo  
 Jefe del laboratorio de Ing. Sanitaria y Ambiental  
 Facultad de Ingeniería Civil, U.M.S.N.H.



Los resultados obtenidos en este análisis muestran que el agua es apropiada para la elaboración del espécimen y la realización del curado ya que no posee un componente que pueda llagar a alterar la composición del mismo.



### 6.3.- Elaboración de la mezcla.

#### 6.3.1 Fluidéz en morteros.

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

Equipo:

Mesa de fluidéz puede ser eléctrica o manual.

Aceite SAE-10 o cualquier otro lubricante con la misma densidad.

Moldes.

Calibrador.

Varilla para compactar 5/8”.

Procedimiento.

1.- Lubricación de la mesa. El eje vertical se mantendrá limpio y se lubricara con aceite SAE-10. No debe hacer aceite entre las caras de apoyo de la saliente del eje y el soporte. El aceite sobre la cara de la leva disminuirá el desgaste y facilitara la uniformidad del funcionamiento, se recomienda levantar la mesa y dejarla caer doce veces.

2.- El molde para colar el espécimen para el ensaye será de bronce o latón con diámetro de la boca superior de 70mm, las superficies definidas por la base y el borde superior serán perpendiculares entre si y al eje del cono vertical.

3.-. El calibrador se usara para medir el diámetro del mortero después de que haya extendido, tendrá una exactitud tal que la distancia entre las quijadas deberá ser de 102 mm cuando el indicador se encuentre en cero.



**Ilustración 31. Mesa de fluidez con ensaye de bronce y calibrador, los instrumentos para realizar la prueba de fluidez.**

4.- Se debe de humedecer la parte superior de la mesa, se limpiara del material arenoso, y se eliminara el exceso de agua con una franela húmeda, todo para poder realizar el ensaye, 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 25 golpes, las cuales se distribuyen en la sección transversal, teniendo cuidado de no penetrar la capa subyacente, 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 removerá con un tirón firme hacia arriba. La mesa se eleva y se deja caer 1.3 cm, 15 veces durante 15 segundos, haciendo girar la leva a una velocidad uniforme, el diámetro del mortero extendido será el promedio de seis medidas distribuidas simétricamente, leídas y redondeadas al 0.5 cm.



**Ilustración 32. La mesa de fluidez se eleva y se deja caer 1.3 cm, 15 veces durante 15 segundos.**



**Ilustración 33. Realización de las mediciones en la mesa de fluidez.**



Cálculos.

Se registra como porcentaje en que se incrementa el diámetro del mortero extendido con respecto al diámetro original de la base del mortero moldeado, ósea:

$$\text{Fluidez (\%)} = \frac{\text{diámetro extendido} - 25 \text{ cm}}{25 \text{ cm}} 100 \quad (14)$$

Resultados.

### 6.3.2 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.

Aparato de Vicatt.

Cristal liso.

Consistencia normal.

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

Procedimiento.

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.



COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MORTEROS DE ALBAÑILERÍA  
PARA LA CONSTRUCCIÓN

2.- se fija una cantidad de agua expresada en por ciento. Respecto al peso del cemento seco, se mide en la probeta graduada y se vierte en el centro del cráter (echando a andar un cronómetro al caer el agua sobre el cemento).

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 debe de hacerse en un máximo de 30 segundos).

4.- En otro ciclo de 30 segundos consecuentes a los anteriores se deja reposar la mezcla para que la humedad se homogenice.

5.- Se hace el amasado de la pasta en un tiempo global de 1.5 minutos contados a partir de los anteriores.

a).- En los primeros 30 seg 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.

b).- En otros 30 seg se forma una esfera con la pasta y se pasa de una palma a otra a una distancia de aproximadamente de 15 cm, este ciclo de pasar de una mano a otra se debe de repetir 6 veces terminado lo anterior.

c).- En los últimos 30 seg de los 1.5 min, descansamos la bola en la palma de la mano, se introducirá a presión por la boca mayor del anillo cónico del aparato de Vicatt, 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 espátula, debe tenerse cuidado de comprimir la pasta.

6.- Determinación de la consistencia. La pasta confinada en el anillo que descansa sobre una placa, debe de centrarse debajo de la barra, cuyo extremo que forma un embolo se pondrán en contacto con la superficie de la pasta y se apretará el tornillo sujetador después se colocará el indicador móvil en la marca cero en la parte superior de la escala o se hará una lectura inicial.



**Ilustración 34. Preparación de la mezcla y medición de la consistencia.**  
Resultados.

**Tabla 13. Resultados de la cantidad de agua necesaria para obtener la consistencia recomendada.**

Consistencia normal del cemento		
Marca	Agua	Medición
Cruz azul	90 ml	9 mm
Tolteca	936ml	9 mm
Moctezuma	96 ml	10 mm
Apasco	90 ml	9 mm

**Nota:** La cantidad de cemento que se tomo para esta prueba fue de 300 gramos.



### 6.3.3 Determinación de tiempos de fraguado.

Objetivo: Determinar el tiempo de fraguado inicial y final del cemento hidráulico mediante las agujas de Gillmore.

Equipo:

Aparato de Gillmore.

Balanza.

Probetas graduadas.

#### PREPARACIÓN DE LA PASTA DE CEMENTO.

Siguiendo el procedimiento descrito en la preparación de mezcla para la consistencia normal (manual de materiales) mezcle 500 gramos del cemento con el agua necesaria para su consistencia normal. Con la pasta de cemento preparada y sobre una placa de vidrio cuadrada, plana y limpia de aproximadamente 4" por lado, hágase una pastilla de poco más o menos 7.5 cm de diámetro y 1.3 cm de espesor en la parte central, disminuyendo hacia los bordes. Para moldearla aplánese primero la pasta de cemento sobre el vidrio y forme 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 manténgase las agujas en posición vertical y póngase en contacto ligeramente con la superficie de la pastilla, considere que el cemento ha alcanzado su fraguado inicial cuando soporte 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 soporte la aguja de Gillmore final (la más pesada), sin que marque huella apreciable.



**Ilustración 35. Tiempo inicial y final del fraguado de los morteros.**

Resultados.

**Tabla 14. Resultados obtenidos de los tiempos de fraguado.**

<b>Morteros</b>	<b>Fraguado inicial</b>	<b>Fraguado final</b>
<b>Cruz Azul</b>	4 hrs. y 18 min.	8 hrs. Y 3 min.
<b>Tolteca</b>	3 hrs. Y 41 min.	7 hrs. Y 36 min.
<b>Apasco</b>	4 hrs. Y 23 min.	8 hrs. Y 7 min.
<b>Moctezuma</b>	4 hrs. Y 26 min.	8 hrs. Y 26min.

Teniendo ya las pruebas que se realizan al mortero en estado fresco se obtubieron las proporciones adecuadas para reaalizar la mezcla. La cual se realizo mecanicamente con la ayuda del taladro marca Bosh como se muestra en la ilustracion 36.



**Ilustracion 36. Mezclado mecánicamente.**

#### **6.4.- Elaboración de cubos.**

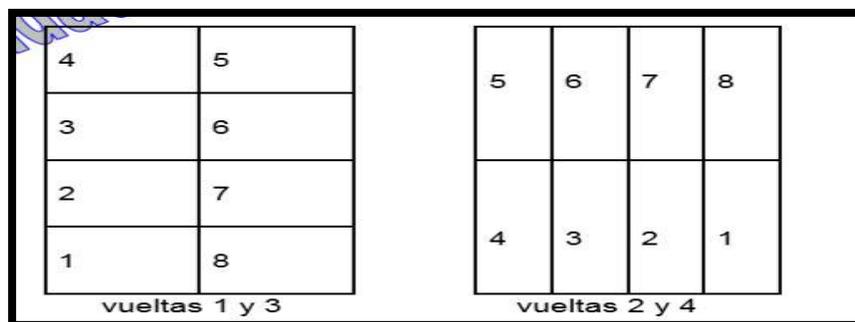
Para la elaboración de los cubos de mortero se utilizaron moldes de acero inoxidable como indica la norma NMX-C-061-ONNCCE-2001, la cual menciona que los moldes se deben de constituir de dos piezas con paredes de suficiente rigidez, para evitar las deformaciones y provista de dispositivos que sujeten firmemente las dos partes entre sí para evitar fugas, además de contar con cavidades cubicas de 50 mm y no tener más de tres de ellas por molde. Los ángulos de las caras deben de ser de 90°. Como se muestra en la ilustración 37.



### Ilustración 37. Moldes de acero cavidades cubicas de 50 mm.

Para la elaboración de los cubos, fue necesario cubrir los moldes de aceite mineral, aceite para transmisión mezclado con diesel para facilitar el desmolde pasadas 24 horas y limpieza del mismo para una posterior utilización.

El llenado se lleva a cabo en cuatro capas, en la cual en cada capa se compacta con un pisón, 32 veces en 10 segundos, en 4 vueltas. La iniciación de cada vuelta se efectúa a  $90^\circ$  con respecto a lo anterior y consiste en 8 golpes adyacentes repartidos sobre la superficie. Tal como se muestra en la ilustración 38 la presión para compactar el espécimen debe ser la necesaria para asegurar un llenado uniforme en el molde.



### Ilustración 38. Procedimiento del apisonamiento del molde.



**Ilustración 39 . Llenado de los moldes cúbicos en cuatro capas.**



**Ilustración 40. Descimbrado de los especímenes transcurridas las 24 horas.**

El curado de los especímenes se llevó acabo de acuerdo a la norma NMX-C-061-ONNCCE-2010, en el que nos indica que la acción se debe de hacer sumergiendo los especímenes en agua, en un recipiente no corrosivo, en este caso se empleó un recipiente plástico de 19 litros.

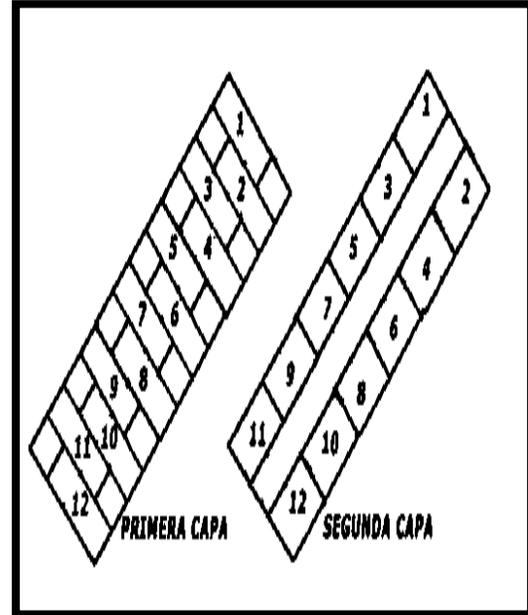


**Ilustración 41. Curado de los especímenes en recipientes de 19 litros.**

### **6.5.- Elaboración de prismas.**

Para la elaboración de los prismas de mortero, se utilizaron moldes de acero de un material similar a las descritas en la elaboración de cubos, estos moldes tienen dimensiones de 40 mm de ancho, 40 mm de espesor y 160 mm de largo, con 10 cavidades por molde, como se muestra en la Ilustración 23.

Los moldes fueron engrasados con aceite mineral, para que transcurridas 24 horas se llevara a cabo el descimbrado de los prismas, posteriormente se procedió al llenado de los moldes con las mezclas de las cuatro marcas correspondientes, este se realizó colocando la primera capa, a una altura de la mitad del molde la cual se compacto con un pistón 12 veces en una dirección tratando de cubrir toda la superficie, después se coloca la segunda capa llenando con totalidad el molde y posteriormente se vuelve a compactar 12 veces más pero esta vez en una dirección perpendicular a la compactación anterior como se muestra en la ilustración 43.terminada esta acción se enraza con una espátula plana, de tal forma que la superficie quede nivelada.



**Ilustración 42. Molde de acero del prisma. Ilustración 43. Dirección del apisonamiento.**

Terminada esta acción se enraza con una espátula plana, de tal forma que la superficie quede nivelada. Después transcurridas 24 horas se desmoldan y se meten a los recipientes de curado hasta que cumpla la edad de prueba.

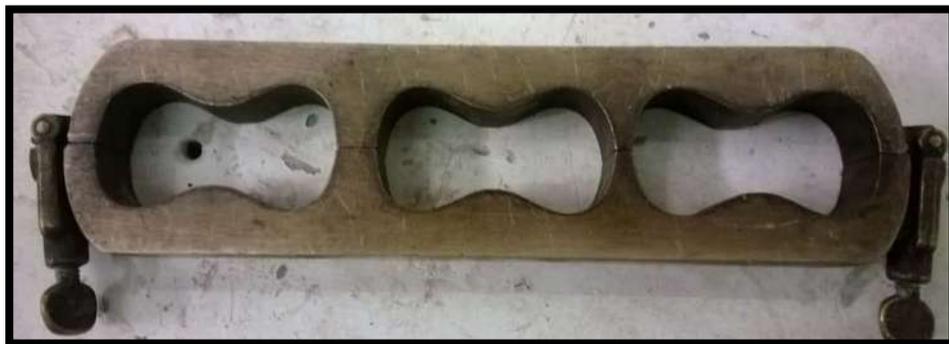


**Ilustración 44. Enraizado de los moldes con la espátula plana.**

### 6.6.- Elaboración de briquetas.

Para la elaboración de las briquetas de mortero, para cada una de las cuatro marcas correspondientes, se utilizó un molde de bronce, con tres cavidades por molde, compuesto por dos partes las cuales se unen entre sí. Ilustración 45.

Para la fabricación de las briquetas, primero se engrasaron los moldes y después se llenaron con la mezcla de mortero correspondiente (ilustración 46). Puesto que no hay ninguna norma para el llenado de las briquetas, estas se hicieron siguiendo el procedimiento descrito el Libro “Análisis de Materiales”, tercera edición, del Laboratorio de Materiales “Ing. Luis Silva Ruelas”, de la UMSNH. El llenado de las briquetas consiste en llenar los moldes de las mismas, comprimiendo la mezcla con el dedo índice y enrazando con la ayuda de una espátula, el molde se puso sobre una superficie de cristal, engrasado previamente para evitar que la mezcla se adhiera a éste.



**Ilustración 45. Molde utilizado para la realización de las briquetas.**



**Ilustración 46. Enrazamiento y elaboración de las briquetas.**

Después de la elaboración del número correspondiente de briquetas para las edades de prueba especificadas, se dejaron fraguar durante 24 horas, después se procedió al curado tal como en los cubos y prismas hasta la fecha de prueba.

## 6.7. Losas de concreto

Se utilizó una losa de concreto la cual sirvió como sustrato para medir la adherencia entre los morteros y el concreto, de dimensiones de  $1 \text{ m}^2$  por 7 cm de espesor, con una resistencia de  $150 \text{ kg/cm}^2$ , utilizando agregado triturado, arena volcánica del banco de Joyitas, agua del laboratorio de Materiales y cemento CPC 30R RS.

### 6.7.1. Revestimiento de la losa

Para la realización de la prueba de adherencia se elaboraron las cuatro mezclas correspondientes a los cuatro morteros de la investigación, por lo que la losa se dividió en estas partes, de 50 cm por 50 cm, posteriormente se cubrió la losa con su mezcla correspondiente con un espesor aproximado de 7 mm a 10 mm de espesor.



#### Ilustración 47. Revestimiento de la losa de concreto.

Cabe mencionar que en el momento del primer revestimiento no se contaba con uno de los morteros utilizados en la investigación, por lo tanto este se colocó después, aún así se sometió a las mismas edades que los otros especímenes.



**Ilustración 48. Revestimiento de la losa con las cuatro marcas del mortero en investigación.**

### 6.8 Pruebas no destructivas

Una definición general de prueba no destructiva es una revisión, prueba, o evaluación realizada en algún tipo de objeto sin cambiar o alterar dicho objeto en alguna forma, para determinar la ausencia o presencia de condiciones o discontinuidades que puedan tener un efecto en la utilidad del objeto. Las pruebas no destructivas también pueden realizarse para medir otras características de prueba del objeto como tamaño, dimensión, configuración, estructura, incluyendo contenido de aleación, dureza, tamaño de grano, etc. (Charles, 2001).

Estas pruebas se realizaron a la edad de 28 días en todas las marcas en es especímenes cúbicos y primaticos.

#### 6.8.1 Gravedad específica o peso específico

La prueba de gravedad específica se le realiza a los especímenes cúbicos, esta prueba se lleva con forme se indica también en el Libro “Análisis de Materiales”, de la UMSNH, tercera edición.

El procedimiento es el que se describe a continuación:

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 (Ilustración 49).
4. Se determina la masa sumergida del espécimen ( $M_a$ =Masa sumergida).
5. Se secan las muestras en el horno a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas.
6. Se deja enfriar a temperatura ambiente y se determina su masa seca con ayuda de una balanza ( $M_s$ =Masa seca).



**Ilustración 49. Realización de la prueba de Gravedad específica con la canastilla ya adaptada.**

Los cálculos para la obtención de la gravedad específica se hacen con la siguiente fórmula:

$$\text{G.E.} = \frac{M_s}{M_{ss} - M_a} \quad (15)$$

### 6.8.2 Densidad

La prueba de densidad se le aplica a los especímenes cúbicos de cada material por cada porcentaje, el procedimiento que se sigue es el que se indica en el Libro “Análisis de Materiales”, de la UMSNH, Tercera edición. El procedimiento es como se describe:

- Los especímenes se sacan de los recipientes de curado y se enumeran, posteriormente se secan superficialmente con una franela y registrando su masa como masa de la muestra (M).
- Se llena un picnómetro hasta el nivel de orificio con agua, se coloca en una superficie plana y se procede a colocar el espécimen dentro, recibiendo el agua desalojada con una probeta graduada esperando a que escurra el agua desalojada y tendremos en la probeta el volumen del agua que corresponde al volumen (V) del espécimen (Ilustración 50).



**Ilustración 50. Desalojo del agua después de colocar el espécimen dentro del picnómetro.**

Los cálculos para obtener la densidad de los especímenes cúbicos se hace con la siguiente fórmula:

$$D = \frac{M}{V} \quad (16)$$



Dónde

D= densidad en g/cm<sup>3</sup>

M= masa del espécimen en g.

V= volumen del espécimen en cm<sup>3</sup>.

### 6.8.3.- Absorción

La prueba de porcentaje de Absorción se le realiza a los especímenes cúbicos, esta prueba se lleva con forme se indica en el Libro “Análisis de Materiales”, de la UMSNH, tercera edición.

El procedimiento se describe a continuación:

- Nuestros especímenes se extraen del curado.
- Se secan de manera superficial con una franela y se procede a pesar anotando este valor como (Mh) masa saturada y superficialmente seca.
- Después se procede a colocar nuestros especímenes en una charola para secarlo durante 24 hrs. en el horno a una temperatura de 110° C, se sacan y se dejan enfriar un poco y se procede a pesarlo registrando como masa seca (Ms).

Cálculos.

$$\% h \text{ absorcion} = \frac{Mh - Ms}{Ms} \times 100 \quad (17)$$

Dónde:

Mh = Masa saturada y superficialmente seca de la grava en gramos.

Ms = Masa seca de la grava en gramos.



#### 6.8.4.- Velocidad de pulso ultrasónico.

Previo a la realización de la prueba de pulso ultrasónico, se deberá verificar que los especímenes de mortero a ser ensayados, tengan la superficie plana, lisa, exenta de suciedad y carbonatación. En el caso de que la superficie no sea suficientemente lisa deberá regularizarse a través de procedimientos mecánicos, o con una capa de pasta de cemento, yeso o resina epóxica con un espesor mínimo para no interferir la medida, y facilitar el acoplamiento de los transductores.

Los equipos y materiales requeridos para este ensayo fueron:

- Acoplante (vaselina o gel).
- Equipo comercial de ultrasonido.
- Circuito generador-receptor (aparato de pulso ultrasónico de baja frecuencia ultrasónica).
- Transductor-emisor (aparato que posibilita la transformación del pulso eléctrico en onda de choque en una banda de 24 kHz hasta 500 kHz).
- Circuito medidor de tiempo (aparato que permite medir el tiempo recorrido desde la emisión de onda hasta su recepción).
- Cables coaxiales que deben permitir la conexión perfecta de los transductores al circuito generador-receptor.
- Barra de referencia. Pieza que permite la calibración del equipo de ultrasonido, cuya superficie tiene un acabado pulido y el tiempo de recorrido grabado.

Para comenzar la prueba, se deberá tener calibrado el aparato usando la barra de referencia, o dispositivo equivalente del equipo. Posteriormente, los transductores se deberán posicionar como se indica a continuación:

- Transmisión directa, con los transductores en las caras opuestas del material.
- Transmisión indirecta, con los transductores en la misma cara.
- Transmisión semidirecta, con los transductores en las caras adyacentes.



**Ilustración 51. Equipo de velocidad de pulso ultrasónico, modelo 58-E0049 marca CONTROLS.**

Se colocan y presionan las superficies de los transductores sobre la zona de ensayo, considerándose satisfactorios cuando sea obtenido un valor mínimo de lectura como variación de +1%. Para esta prueba se realizó la medición por transmisión directa.

Una vez verificada la barra de patrón se procede con los cubos de mortero utilizando el mismo procedimiento. Se coloca en ambas caras del cubo, un poco de gel para ubicar y presionar las superficies de los transductores sobre la zona de ensayo, a fin de tener un buen contacto de estos con el mortero. Ya colocados se enciende el equipo empleado para esta medición, y se registra el valor obtenido.



**Ilustración 52.** Se muestra el procedimiento para la correcta ubicación de los transductores en los cubos, así como el aparato de ultrasonido empleado para la realización de esta prueba.

Una vez obtenidos los valores a partir del aparato de medición, se procede a calcular la velocidad de propagación de ondas conforme a la siguiente fórmula:

$$V = \frac{l}{t} \quad (18)$$

v = velocidad de propagación (m/s)

l = distancia entre los puntos de acoplamiento

t = tiempo recorrido desde la emisión de la onda hasta su recepción

En este estudio, se consideraron cinco espécimenes de cada muestra para obtener un valor promedio del tiempo. Sin embargo, también es posible expresar la homogeneidad y calidad del mortero en forma de parámetros estadísticos tales como la desviación estándar o el coeficiente de variación de las medidas de velocidad de propagación de ondas ultrasónicas en el mortero, hechas en varios puntos de la estructura o elemento estructural por separado. Tales parámetros, sólo pueden ser usados para comparar variaciones en la composición de concretos similares, debiendo considerarse los siguientes factores: distancia entre las superficies de contacto de los transductores, posición de la



armadura, en el sentido de la propagación de onda, densidad del concreto, dependiendo esta del trazo de las condiciones de fabricación, tipo de cemento, grado de hidratación y edad del mortero.

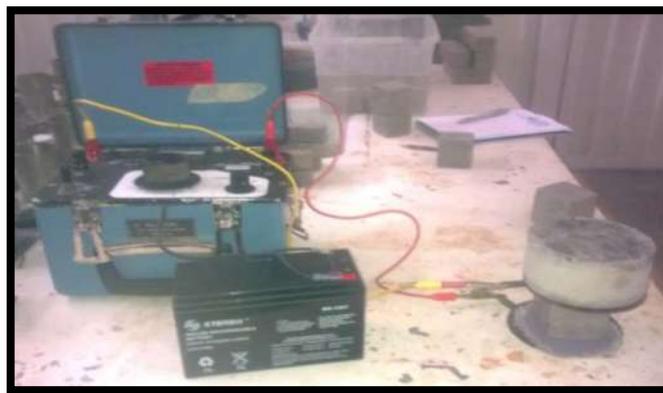
Los criterios de evaluación para esta prueba son los descritos en el manual de la Red DURAR (1997), y que se muestran a continuación en la tabla 14.

**Tabla 15. Criterios de evaluación en pulso ultrasónico (Durar, 1997).**

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

### 6.8.5.- Resistividad Eléctrica.

La prueba de resistividad eléctrica fue realizada a los espécimenes cúbicos y prismáticos, los espécimenes se extraían de los botes 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 especializado de resistencia eléctrica en suelos y materiales porosos, de la marca Nilsson (ilustración 53).



**Ilustración 53. Realización de la prueba de resistencia eléctrica en cubos.**

## COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MORTEROS DE ALBAÑILERÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN

Los materiales y equipos requeridos para esta prueba fueron los siguientes:

- Medidor de resistividad eléctrica.
- Equipo para medir dimensiones, con precisión de décimas.

La prueba se realizó colocando las caras laterales del espécimen entre dos placas de acero inoxidable y esponjas húmedas (Ilustración 54). A éstas se le adicionaron tornillos del mismo material para así poder conectar la fuente, y someterlos a una corriente dada (I) para regular el voltaje (E).



### Ilustración 54. Colocación del prisma para la realización del ensayo

La resistencia eléctrica (R) se calcula como E/I, y se expresa en Ohm. De esta manera, la resistividad eléctrica está dada por:

$$\rho = R_e \left( \frac{A}{L} \right) \quad (\text{ohm} - \text{cm}), (\text{ohm} - \text{m}). \quad (19)$$

Dónde:

A = área transversal del espécimen

L = longitud del espécimen.



En cuanto a los criterios de evaluación, no existe un acuerdo de carácter general entre los diferentes investigadores acerca del nivel límite de resistividad eléctrica por encima del cual el riesgo de corrosión de las armaduras puede ser considerado despreciable. Sin embargo, la práctica ha demostrado que se puede utilizar como criterio general los datos que se muestran en la tabla 16. Debe tenerse en cuenta que la resistividad es sólo uno de los parámetros que evalúa la velocidad de corrosión del acero de refuerzo en el mortero, por tanto, no podrá considerarse como único criterio para definir o prever un posible daño sobre la estructura.

**Tabla 16. Criterios generales para la valoración del riesgo por corrosión en función de la resistencia eléctrica. (Durar, 1997).**

**Criterios de evaluación en resistencia eléctrica**

<b>Intervalo</b>	<b>Criterio</b>
$\rho > 200 \text{ k}\Omega\cdot\text{cm}$	Poco riesgo
$200 > \rho > 10 \text{ k}\Omega\cdot\text{cm}$	Riesgo moderado
$\rho < 10 \text{ k}\Omega\cdot\text{cm}$	Alto riesgo

## 6.9.- Pruebas destructivas.

Las pruebas destructivas son la aplicación de métodos físicos directos que alteran de forma permanente las propiedades y dimensiones del material que se está probando.

### 6.9.1.- Resistencia a la compresión.

Para la realización de esta prueba se tomó el procedimiento que describe la NMX-C-061-ONNCCE.

Al cumplir la edad de prueba los especímenes se retiran de los recipientes de curado se deben cubrir con un trapo húmedo hasta el momento de la prueba. Se toman las dimensiones de cada espécimen cúbico, la prueba de compresión se realizó utilizando la máquina universal Tinius Olsen, se aplicó la carga a una velocidad constante en el rango de 50,000kgf, el cual tiene una aproximación

## COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MORTEROS DE ALBAÑILERÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN

a 0.5kgf, esta velocidad se mantuvo durante toda la prueba hasta la falla del cubo, registrando la carga de falla para posteriormente calcular el esfuerzo a compresión del espécimen.

Se probaron cinco especímenes de cada marca a la edad de 3, 7, 14, 28, 45,60 y 90 días.



**Ilustracion 55. Máquina universal Tinius Olsen utilizada para las pruebas de compresión.**



**Ilustracion 56. Aplicación de carga constante a los especímenes cubicos en la maquina universal Tinius Olsen a la edades antes mencionadas.**



En los cálculos para determinar la resistencia a compresión se usó la siguiente ecuación:

$$\delta = \frac{P}{A} \quad (20)$$

Dónde:

$\delta$  = Esfuerzo a compresión, kgf/cm<sup>2</sup>.

P = Carga, kgf.

A = Área transversal del cilindro, cm<sup>2</sup>.

### 6.9.2.- Resistencia a la flexión.

Esta prueba se le realiza a espécimenes prismáticos con dimensiones de 4 cm X 4 cm X 16 cm, después de retirarlo del recipiente de almacenamiento se secan y se procede a marcarlos con su respectiva simbología, para posteriormente buscar la cara más estable y plana y marcarlos a una distancia de una pulgada en sus extremos y marcando con una línea el centro del claro que es el lugar donde recibirá la carga (Ilustración 57).



#### **Ilustración 57. Identificación del área donde se le aplicara la carga al espécimen prismático.**

La prueba de flexión se realizó utilizando la máquina universal Tinius Olsen, en la cual se colocaron los soportes adecuados para esta prueba en este caso se tomó un solo punto de apoyo,

punto medio, se aplicó carga a una velocidad constante tratando que no fallara por impacto, la carga se dio en el rango de 50,000kgf, el cual tiene una aproximación a 0.5kgf, (ASTM C 293, 2002)



**Ilustración 58. Aplicación de la carga en la maquina universal Tinius Olsen en el punto medio del prisma.**

Como la falla presente fue la del tercio marcado en los prismas los cálculos se realizaron con el empleo de la siguiente ecuación:

$$MR = \frac{3WL}{2BD^2} \quad (21)$$

Dónde:

MR=Módulo de ruptura, kgf/cm<sup>2</sup>

W=Máxima carga aplicada indicada por la máquina de prueba, kgf

L = Longitud entre apoyos de la muestra, cm

B = Ancho promedio de la muestra, cm

D= Espesor promedio de la muestra, cm

### 6.9.3.- Resistencia a la tensión en briquetas.

Como no hay una norma o documento oficial en donde marque el procedimiento a seguir se tomó el que se indica el libro de laboratorio de materiales

El procedimiento seguido se describe a continuación:

- 1.- Se sacaron de la pila de curado las muestras a probar a la edad correspondiente.
- 2.- Se tomaron las medidas de la sección media ( $S_m$ ) de la briqueleta.
- 3.- Se colocó la briqueleta en la máquina la cual debe quedar perfectamente nivelada.
- 4.- Se aplicó la carga lenta y constantemente por medio de las municiones hasta la falla de la muestra.



**Ilustración 59. Falla del espécimen por medio de la aplicación constante de municiones.**

5.-Después de la falla de la muestra se retiraron las municiones pesándolas al décimo de gramo, el peso de las municiones ( $P_m$ ) fue considerado como la carga que soportó la sección media de la briqueleta (Ilustración 60).



**Ilustracion 60. Despues de la falla se toma el peso de las municiones que soporto el especimen para registrar el resultado.**

La determinación de la resistencia a tensión realizada en briquetas, se efectuó en la máquina de prueba para tensión en morteros tipo Michaelis (ilustración 61).



**Ilustracion 61. Maquina de prueba paa tension em morteros Michaelis.**



En los cálculos para determinar la resistencia a tensión se usó la siguiente ecuación:

$$R = \frac{pm \times 50}{sm} \quad (22)$$

Dónde:

R = resistencia a la tensión en kgf/cm<sup>2</sup>

Pm = peso de las municiones o carga de ruptura en kgf.

Sm = sección media de la briqueta en cm<sup>2</sup>.

50 = constante de la máquina

#### 6.9.4.- Adherencia.

La adherencia es la capacidad del mortero de absorber tensiones normales o tangenciales a la superficie del soporte. Es, posiblemente, la principal propiedad que se debe exigir al mortero pues de ella depende la estabilidad del recubrimiento. Una adherencia correcta impedirá que el mortero se desprenda del soporte como consecuencia de sus variaciones dimensionales. Dichas variaciones son consecuencia de la acción de los agentes externos a que se encuentran sometidos (lluvia, hielo, frío-calor, etc.) y que dan lugar a contracciones, dilataciones y movimientos del soporte. Igualmente deberá soportar los esfuerzos mecánicos y tensionales entre revestimiento y soporte.

La prueba Pull Off se ha ido incrementando favorablemente y se ha convertido en una prueba in situ para el control de calidad [Simon Austin et al, 1995].

Una vez que obtuvo la edad (3, 7, 14, 28, 45,60 y 90 días) correspondiente para realizar las pruebas de adherencia en cada una de las cuatro marcas en estudio, se comenzó por hacer una perforación en la superficie del revestimiento lo cual se observa en la Ilustración 62. Esta se hizo mediante la ayuda de un esmeril angular portátil marca Black & Decker con una potencia de 750w y 11,000 rpm adicionada de una broca circular con punta de diamante de 50 mm de espesor, la perforación se hizo a un centímetro por debajo del sustrato de concreto.



### **Ilustración 62. Perforación de las losas para la prueba de adherencia.**

Posteriormente se procedió a pegar los discos de acero inoxidable, los cuales son indispensables para realizar la prueba de pull off, estos se adhirieron al revestimiento mediante una resina epóxica, (Ilustración 63), el epóxico utilizado es marca Sikadur-31 Hi-Mod Gel. Después de la aplicación se dejó secar la resina epóxica aproximadamente 24 horas, para evitar obtener una falla por el pegamento.



### **Ilustración 63. Colocación de los dollys en el revestimiento con la ayuda de la resina epóxica.**

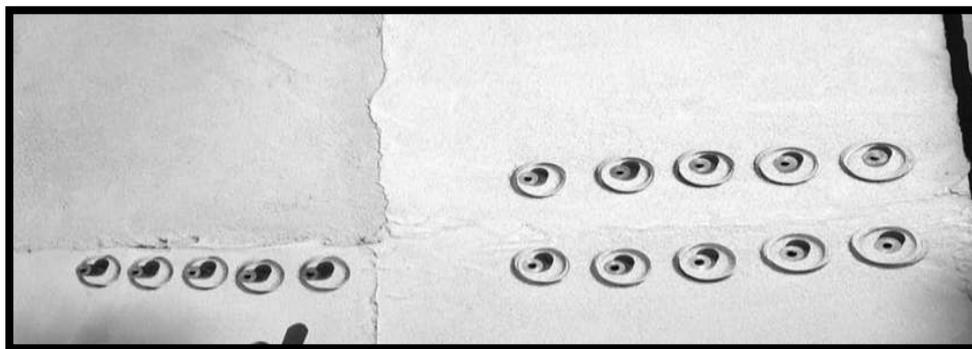
## COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MORTEROS DE ALBAÑILERÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN

El epóxico utilizado para este ensaye fue el adhesivo epóxico de alta resistencia Sikadur®-31 Hi-Mod Gel, éste es un adhesivo tixotrópico de dos componentes a base de resinas epóxicas y cargas inactivas, exento de solventes. Dándole el uso para anclar acero con concreto utilizando un porcentaje 50-50 en peso, el cual es muy fácil de usar (Ilustración 64).



**Ilustración 64. Resina epóxica Sikadur®-31 Hi-Mod Gel en presentación unidad (componentes A + B) de 1 kg., color gris.**

Transcurridas las 24 horas, ya que el epóxico se encontraba seco, cabe mencionar que en días de prueba hubo lluvias así que se cubría la losa para evitar que el agua influyera en los resultados, se procedió a realizar la prueba (Ilustración 65).



**Ilustración 65. Losa en óptimas condiciones para realizar la prueba de la adherencia.**

## COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MORTEROS DE ALBAÑILERÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN

La prueba de la adherencia, consiste en insertar el perno con cabeza cilíndrica en el disco de metal (Dollys) pegado a la superficie de la muestra cuando ya está bien colocado se introduce el instrumento de medición Pull Off (Ilustración 66), en el perno con cabeza de pelota (Ilustración 67) para después apretar ligeramente como si se jalara hasta sentir una ligera tensión, se comenzó a aplicarle carga lenta y constante en el rango que indica la norma en sentido anti horario, hasta que se obtuvo la falla cuando ocurre esto el instrumento deja automáticamente de registrar carga, posteriormente se tomó la lectura de carga necesaria para desprender el revestimiento y se registró como carga de ruptura.



**Ilustración 66. Instrumento de medición Pull Off**

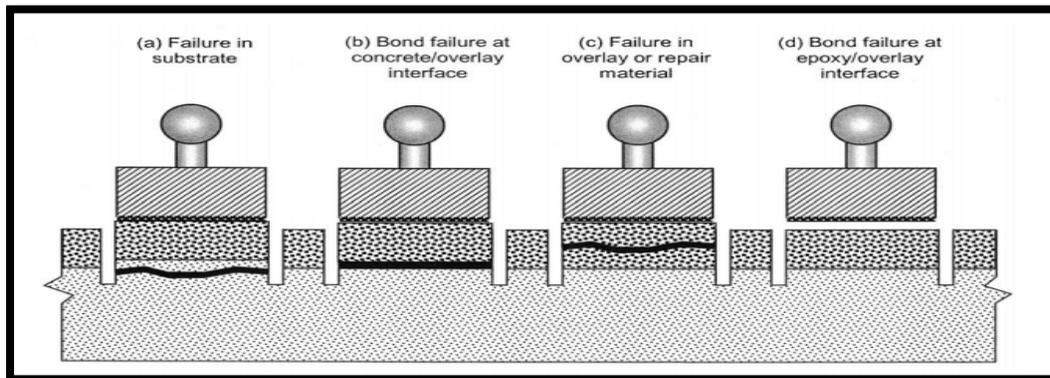


**Ilustración 67. Perno con cabeza de pelota al cual se le introduce el Pull Off.**

## COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MORTEROS DE ALBAÑILERÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN

. Los tipos de fallas que se pueden obtener son las siguientes (ilustración 68):

- Falla 1. En el sustrato.
- Falla 2. En la línea de unión entre la reparación o la superposición de materiales y el adhesivo epóxico que se utiliza para unir el disco de acero.
- Falla 3. En la línea de unión entre el sustrato y el material de reparación o revestimiento.
- Falla 4. En el material de reparación o revestimiento.

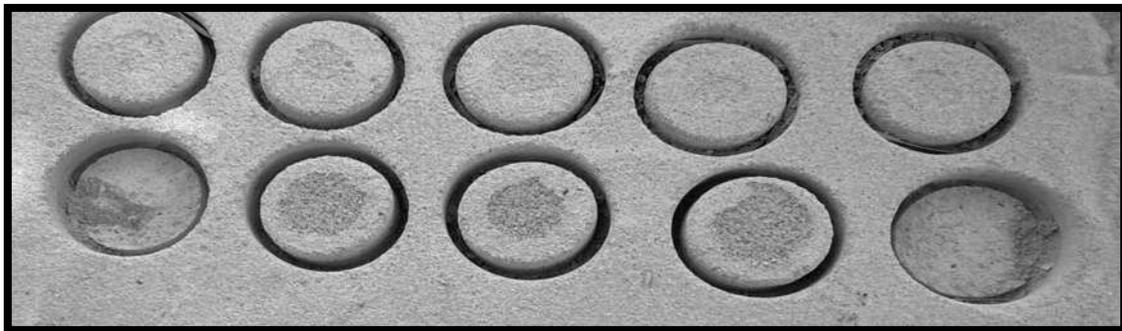
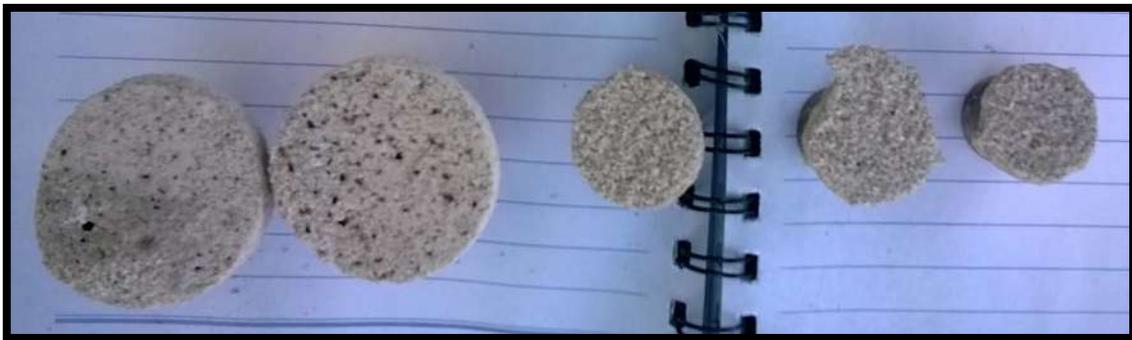


**Ilustración 68.** Tipos de falla que se obtienen en la prueba de la adherencia. (ASTM C 1583, 2004).





**Ilustracion 69. Falla 1 en el sustrato.**



**Ilustracion 70. Falla 3 En la línea de unión entre el sustrato y el material de reparación o revestimiento.**

Se le llama fuerza de adherencia, cuando se produce la falla en la línea de unión entre el sustrato y el material de reparación o revestimiento, y resistencia a la tensión cuando ésta se produce en el sustrato o el material de reparación o revestimiento.



UMSNH

INGENIERIA CIVIL



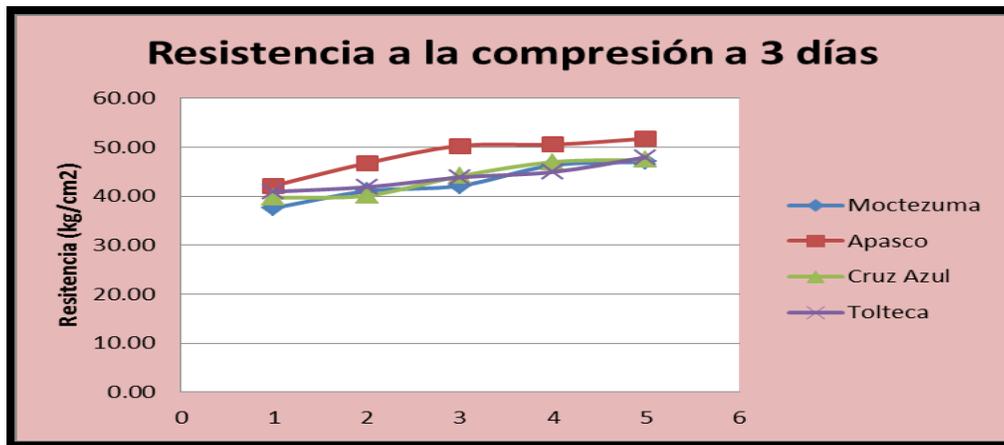
COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MORTEROS DE ALBAÑILERÍA  
PARA LA CONSTRUCCIÓN

La fuerza de adherencia o resistencia a la tensión la calcula automáticamente el Equipo Pull Off, dividiendo la carga de tensión de falla y el área del espécimen de prueba.



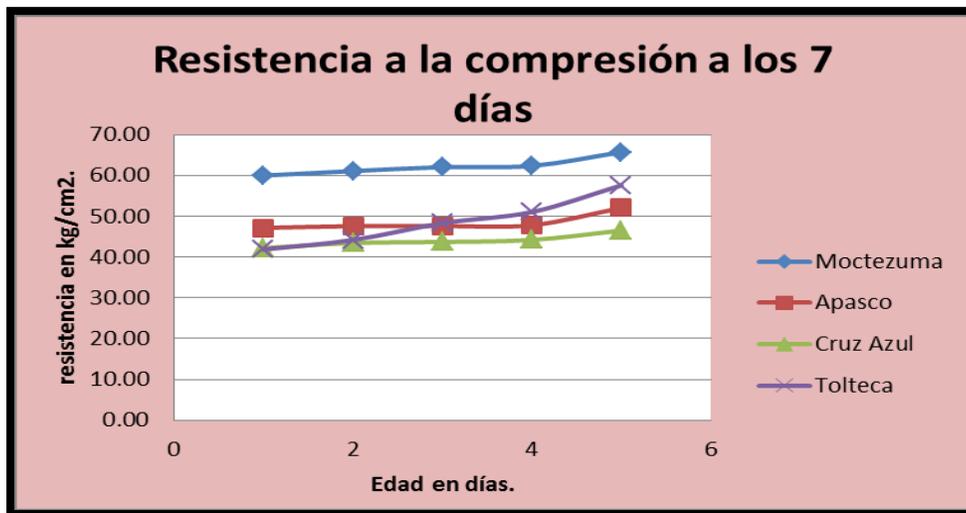
### 7.- RESULTADOS

Para cada prueba se realizó una comparación entre los Morteros, y de esta manera conocer su comportamiento. La forma en que se presentan los resultados es gráfica mostrandolos para cada edad.



**Ilustración 71. Resultados obtenidos de la prueba de compresión a la edad de 3 días**

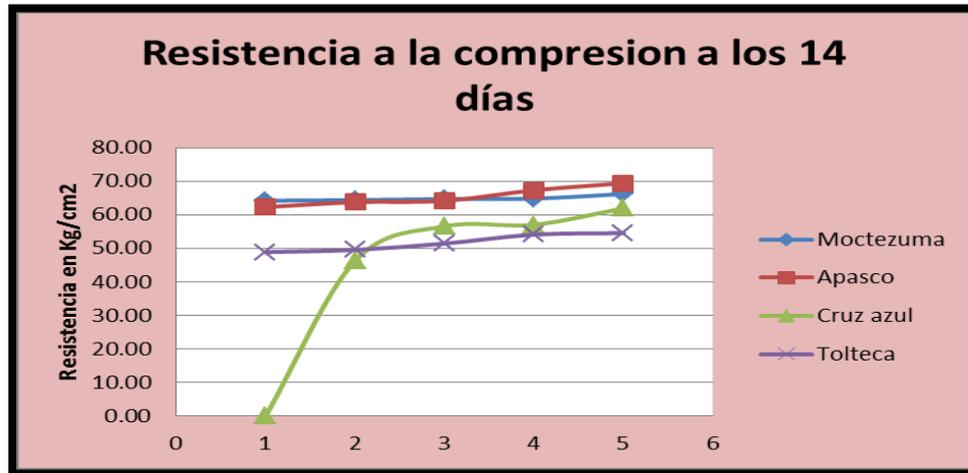
La ilustración 71 muestra que a esta edad el mortero Apasco adquirió la más alta resistencia, en comparación con los otros morteros en estudio .



**Ilustración 72. Resultados obtenidos de la prueba de compresión a la edad de 7 días**

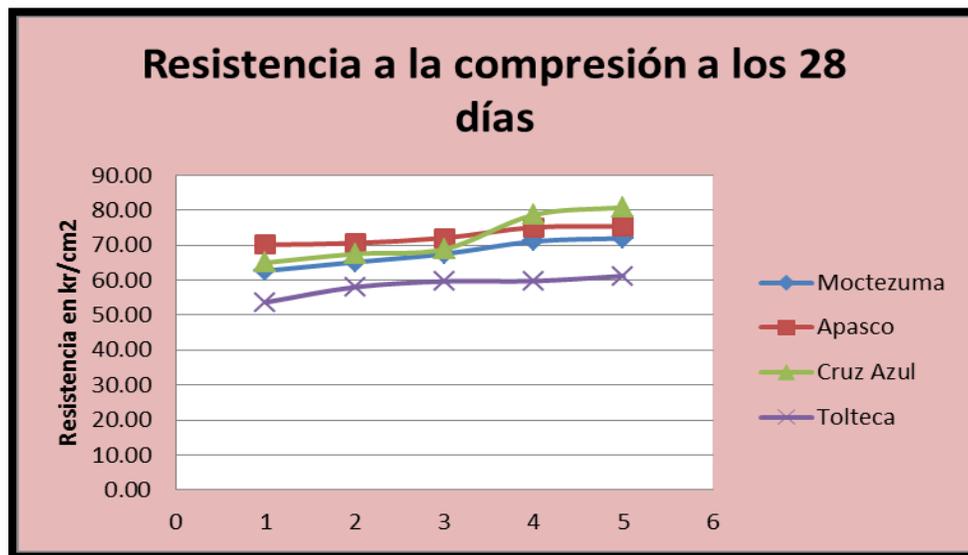
COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MORTEROS DE ALBAÑILERÍA  
PARA LA CONSTRUCCIÓN

En la ilustración 72 se muestra que existe un incremento de resistencia en el mortero Moctezuma, mientras que el Cruz azul se encuentra un poco abajo, los otros dos cuentan con resultados similares.



**Ilustración 73. Resultados obtenidos de la prueba de compresión a la edad de 14 días**

En la ilustración 73 se observa que el mortero Apasco vuelve a tener el mayor rango de resistencia, seguido del Moctezuma, mientras que los otros dos se encuentran por debajo de ambos.

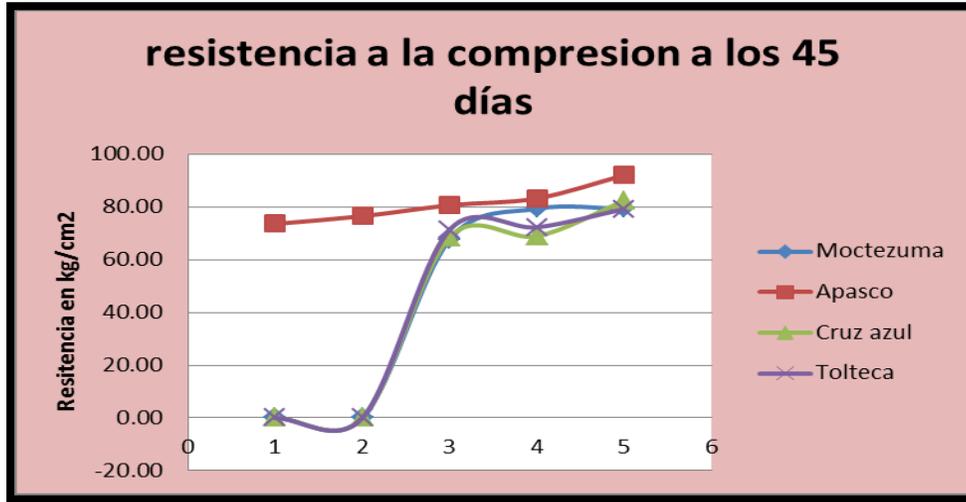


**Ilustración 74. Resultados obtenidos de la prueba de compresión a la edad de 28 días**



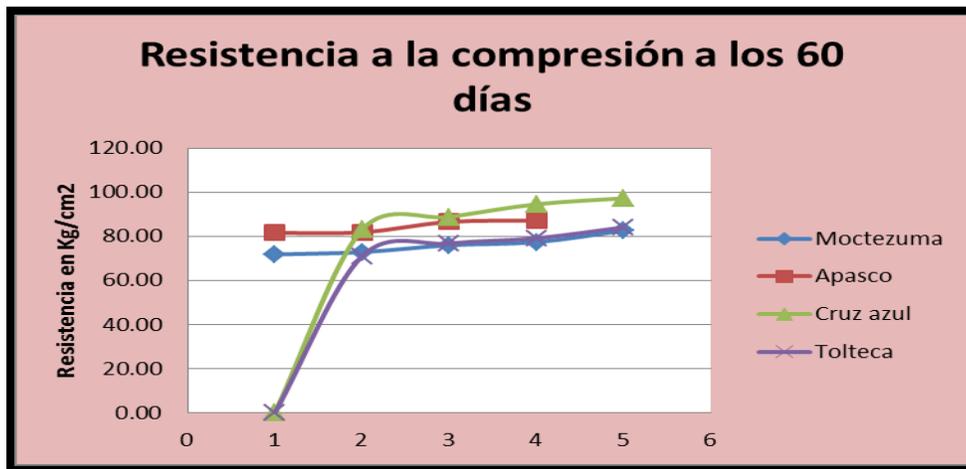
COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MORTEROS DE ALBAÑILERÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN

La ilustración 74 muestra un incremento demasiado favorable para el mortero Cruz azul seguido del Apasco, dejando en un rango inferior al Tolteca, cabe señalar que a esta edad es cuando los morteros alcanzan su mayor resistencia.



**Ilustración 75. Resultados obtenidos de la prueba de compresión a la edad de 45 días**

En la ilustracion 75 se observa que el mortero Apasco vuelve a adquirir la mayor resistencia seguido del Cruz azul.

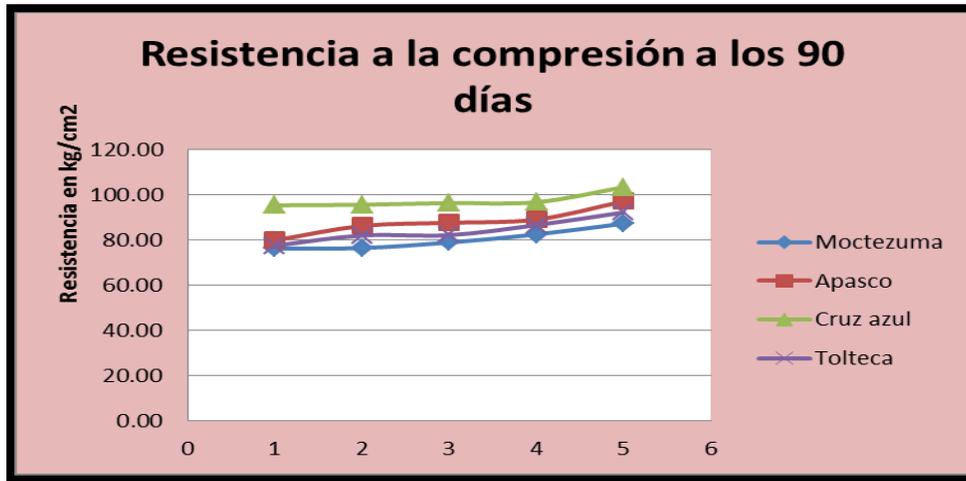


**Ilustración 76. Resultados obtenidos de la prueba de compresión a la edad de 60 días**



COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MORTEROS DE ALBAÑILERÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN

La ilustración 76 muestra que el mortero Cruz azul fue el que adquirió el mayor resultado en cuanto a la resistencia, seguido del Apasco, dejando atrás a los otros existiendo una desigualdad considerable.



**Ilustración 77. Resultados obtenidos de la prueba de compresión a la edad de 90 días**

La ilustración 77 muestra la tendencia que se han venido dando en las edades anteriores posicionando al mortero Cruz azul con la más alta resistencia, seguido del Apasco, Tolteca y el mortero que se mostró menos favorecido con esta prueba fue el Moctezuma.

En las siguientes ilustraciones se muestran los resultados obtenidos para cada edad de ensayo, en la ilustración 78 se muestra como existe una considerable variación entre los valores que se registraron entre los morteros de las diferentes marcas. Observando las otras ilustraciones se observa que el mortero Cruz azul es el más favorecido con esta prueba mientras que el mortero Apasco es el que obtuvo los valores más bajos.



### COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MORTEROS DE ALBAÑILERÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN

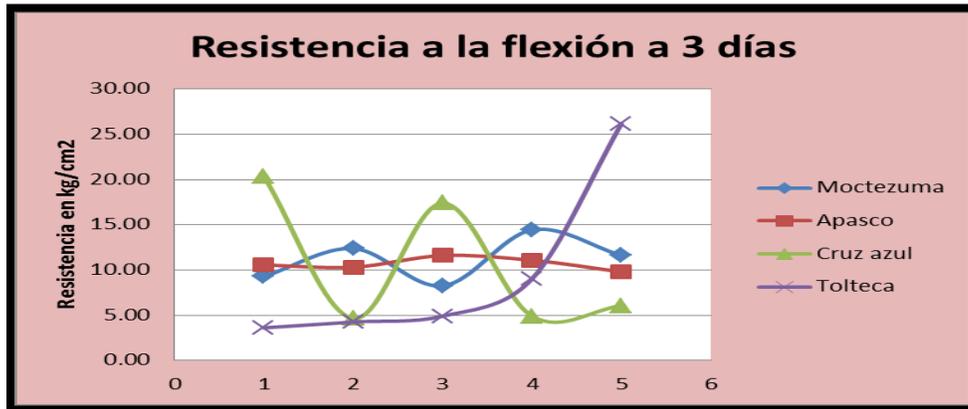


Ilustración 78. Resultados obtenidos de la prueba de flexión a la edad de 3 días

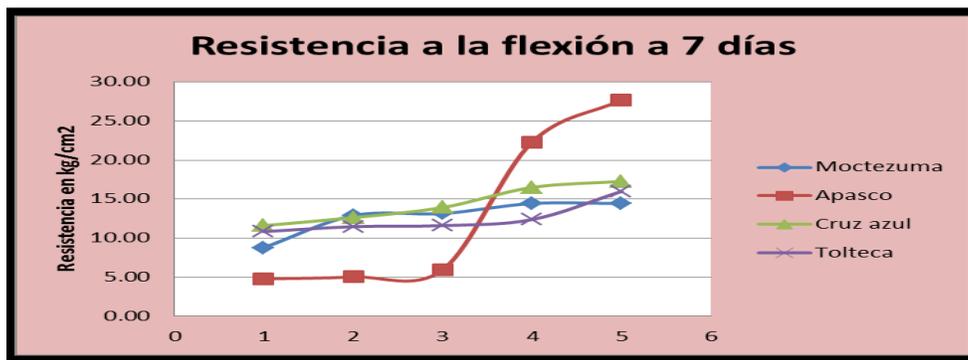


Ilustración 79. Resultados obtenidos de la prueba de flexión a la edad de 7 días

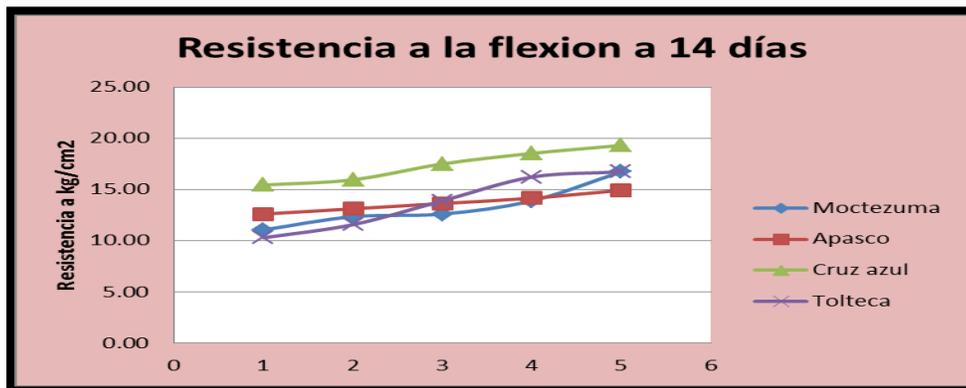


Ilustración 80. Resultados obtenidos de la prueba de flexión a la edad de 14 días



### COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MORTEROS DE ALBAÑILERÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN

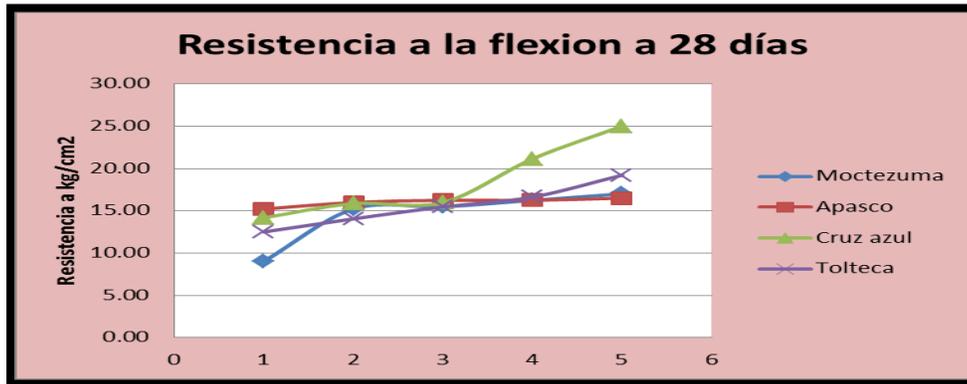


Ilustración 90. Resultados obtenidos de la prueba de flexión a la edad de 28 días

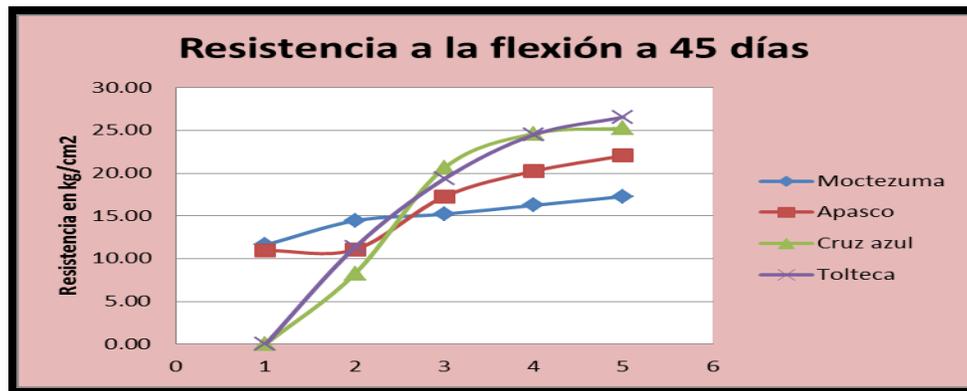


Ilustración 91. Resultados obtenidos de la prueba de flexión a la edad de 45 días.

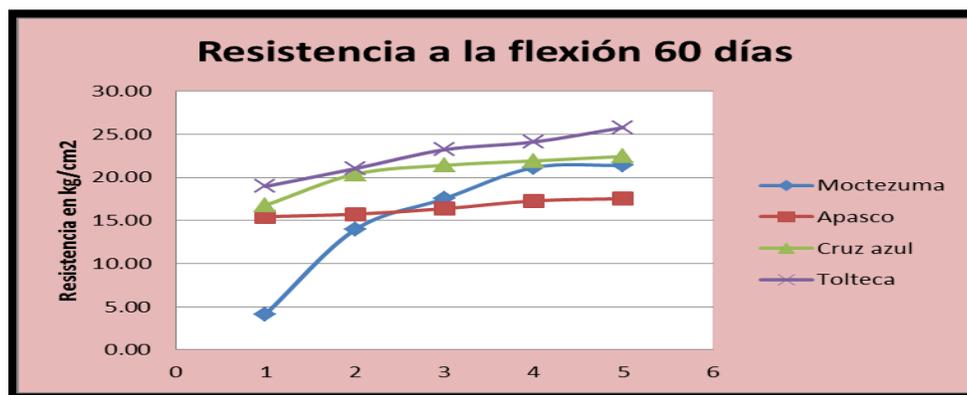
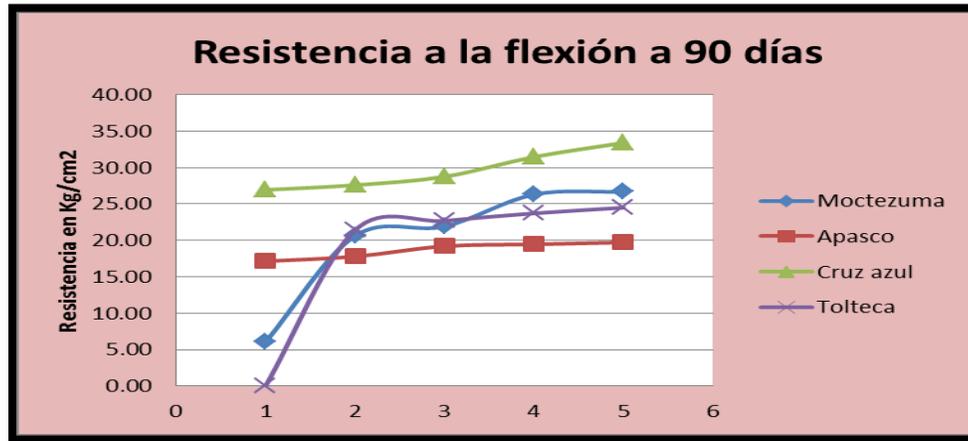


Ilustración 92. Resultados obtenidos de la prueba de flexión a la edad de 60 días

COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MORTEROS DE ALBAÑILERÍA  
PARA LA CONSTRUCCIÓN

**Ilustración 93. Resultados obtenidos de la prueba de flexión a la edad de 90 días.**

En la prueba de tensión el Mortero Cruz azul siguió una tendencia favorable obteniendo los valores más altos en los ensayos realizados, y en la prueba el Mortero Apasco registró los valores más bajos en la prueba, mostrando así su baja resistencia. En cuanto al Tolteca y Moctezuma sus valores se obtuvieron estables con poca variación. Esto se puede observar en las siguientes ilustraciones.



**Ilustración 94. Resultados obtenidos de la prueba de tensión a la edad de 3 días**



### COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MORTEROS DE ALBAÑILERÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN

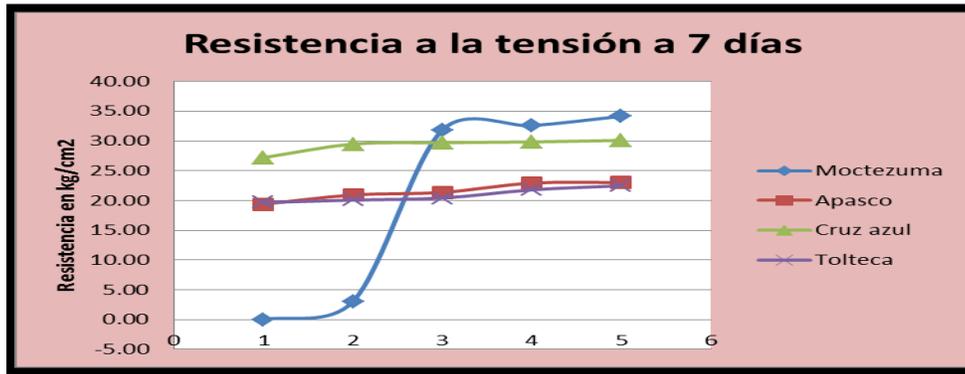


Ilustración 95. Resultados obtenidos de la prueba de tensión a la edad de 7 días.



Ilustración 96. Resultados obtenidos de la prueba de tensión a la edad de 14 días



Ilustración 97. Resultados obtenidos de la prueba de tensión a la edad de 28 días



COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MORTEROS DE ALBAÑILERÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN



Ilustración 98. Resultados obtenidos de la prueba de tensión a la edad de 45 días

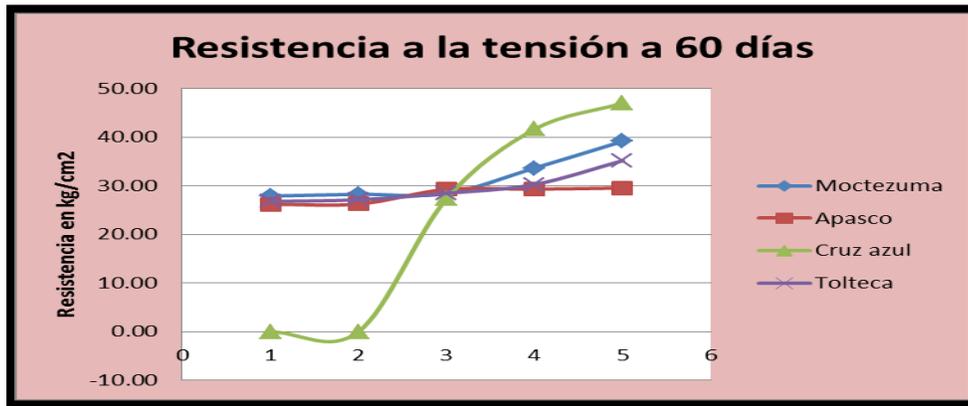


Ilustración 99. Resultados obtenidos de la prueba de tensión a la edad de 60 días

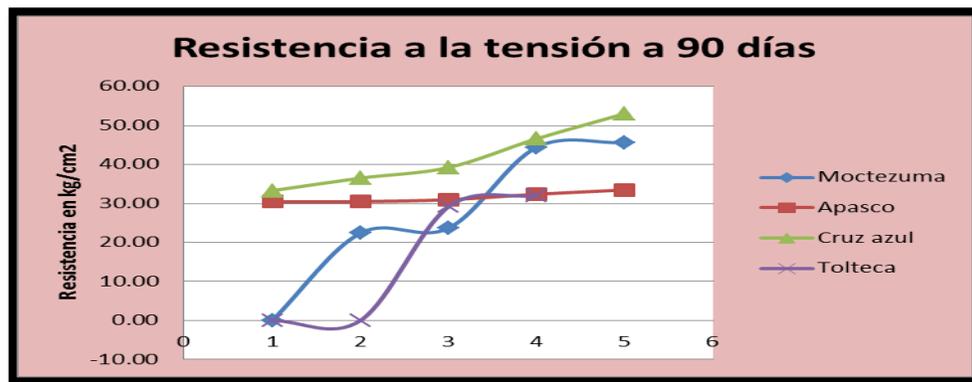
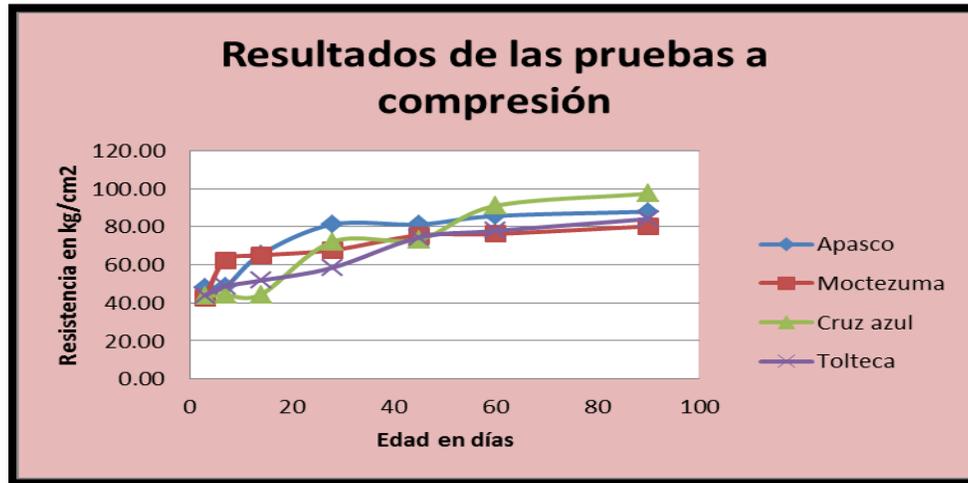
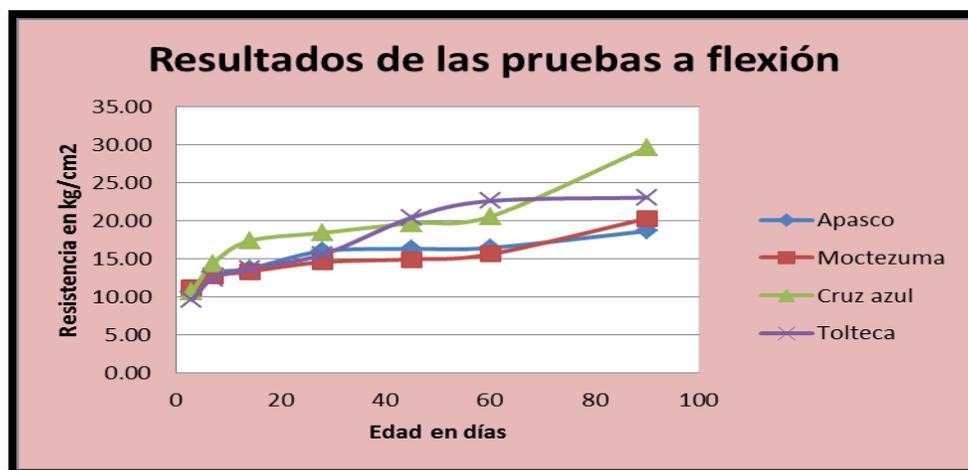


Ilustración 100. Resultados obtenidos de la prueba de tensión a la edad de 90 días.



**Ilustración 101. Resultados obtenidos del promedio de la prueba de compresión realizada a las edades de 3, 7, 14, 28, 45, 60 y 90 días.**

La ilustración 101 muestra el promedio obtenido para cada una de las edades de prueba que se ensayaron, el promedio se obtuvo con los resultados obtenidos de cinco pruebas de cada material por edad, se observa que no existió una marca de Mortero que mantuviera el valor más alto en todas las edades, Los cuatro morteros en estudio mantuvieron un comportamiento ascendente.

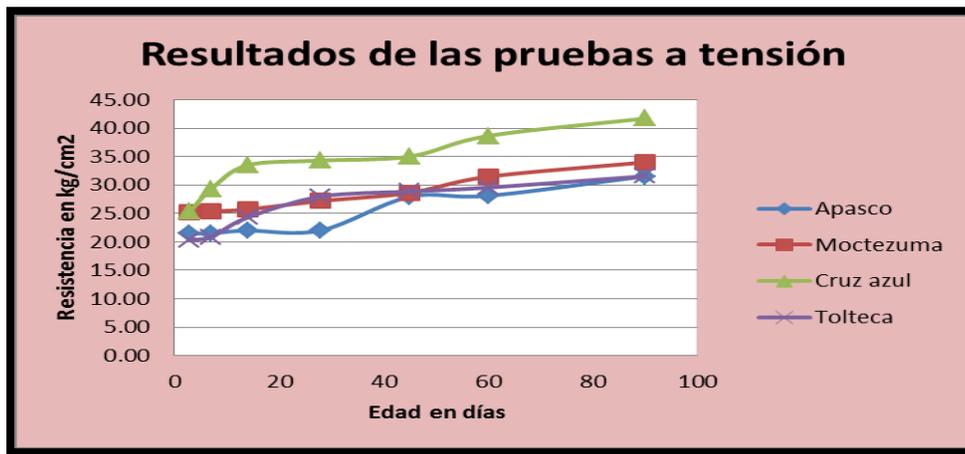


**Ilustración 102. Resultados obtenidos del promedio de la prueba de flexión realizada a las edades de 3, 7, 14, 28, 45, 60 y 90 días.**



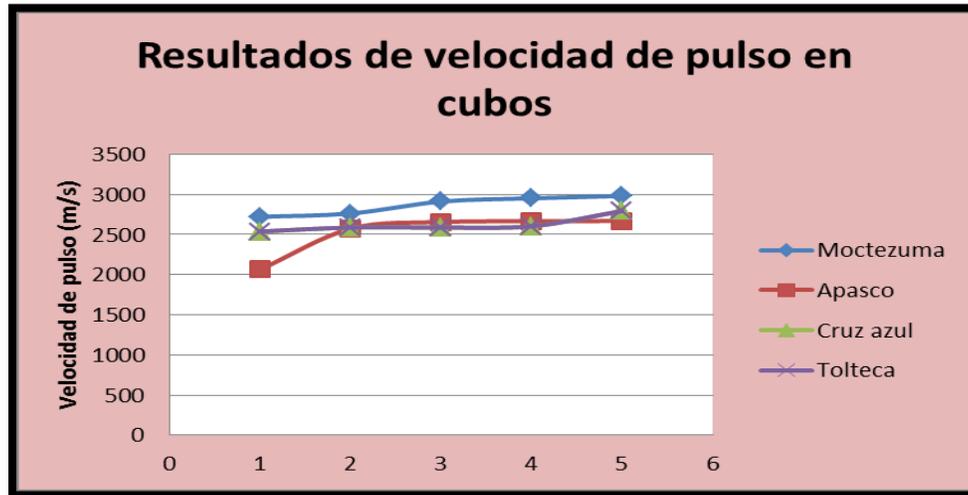
### COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MORTEROS DE ALBAÑILERÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN

En la ilustración 102 se muestra que los valores obtenidos para la prueba de flexión ya promediados favorecen al mortero Cruz azul, enseguida del Tolteca, El mortero apasco muestra una disminucion ya en las ultimas edades dejandolo a este por debajo de los otror tres morteros. Cabe destacar que esta es una prueba en la que se debe tener especial cuidado al momento de empezar a generar la carga, ya que se puede generar una falla por impacto.



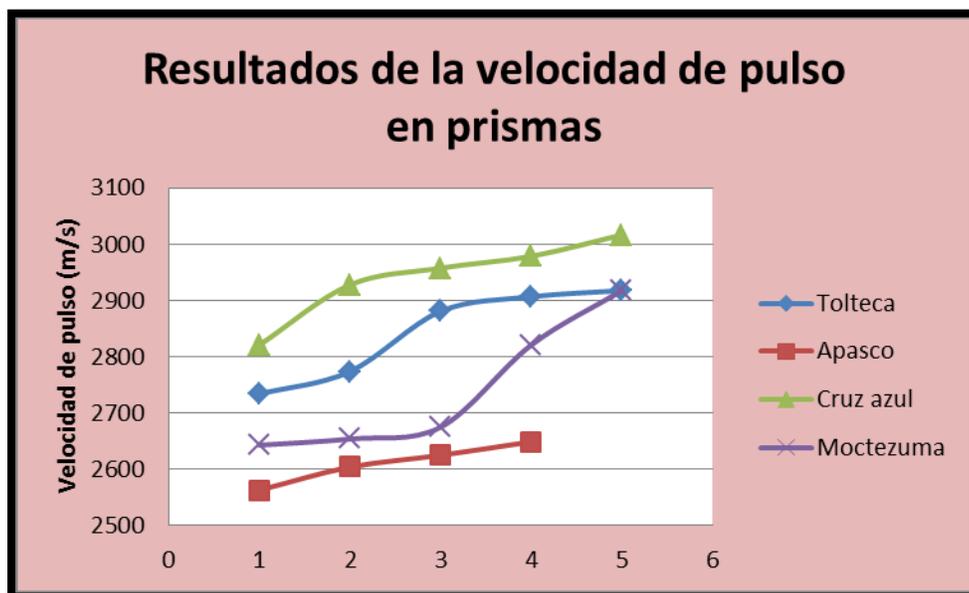
**Ilustración 103. Resultados obtenidos del promedio de la prueba tensión realizada a las edades de 3, 7, 14, 28, 45, 60 y 90 días.**

Como se ha venido observando el mortero Cruz azul obtuvo muy buenos resultados con las pruebas destructivas y es así como lo muestra la ilustración 103 en la cual se observa que el comportamiento de este mortero fue de forma ascendente, siempre por encima de los demás morteros, seguido del Moctezuma, se muestra también que el mortero Tolteca ya después de la edad de 45 días sus valores se mantienen constantes.



**Ilustración 104.** Resultados obtenidos de la prueba de velocidad de pulso en cubos a la edad de 28 días.

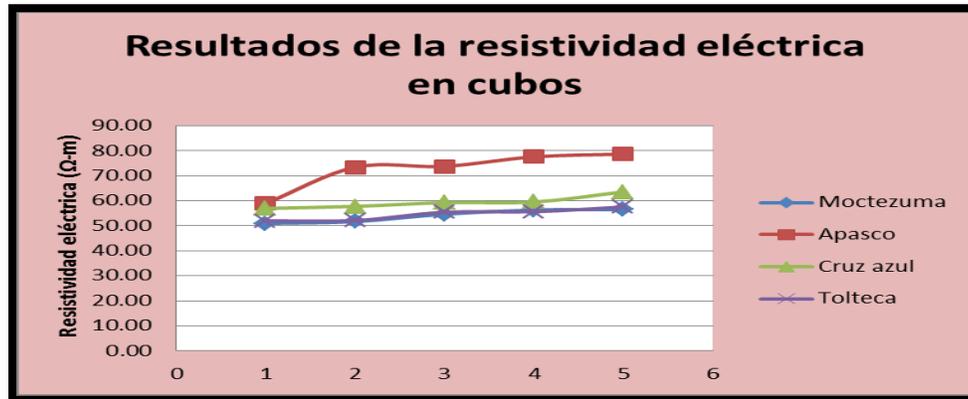
En los cuatro morteros en estudio se obtuvieron valores muy parecidos en la comparación y de acuerdo a la tabla 15 se tiene que el mortero tiene una calidad normal.



**Ilustración 105.** Resultados obtenidos de la prueba de velocidad de pulso en prismas a la edad de 28 días.

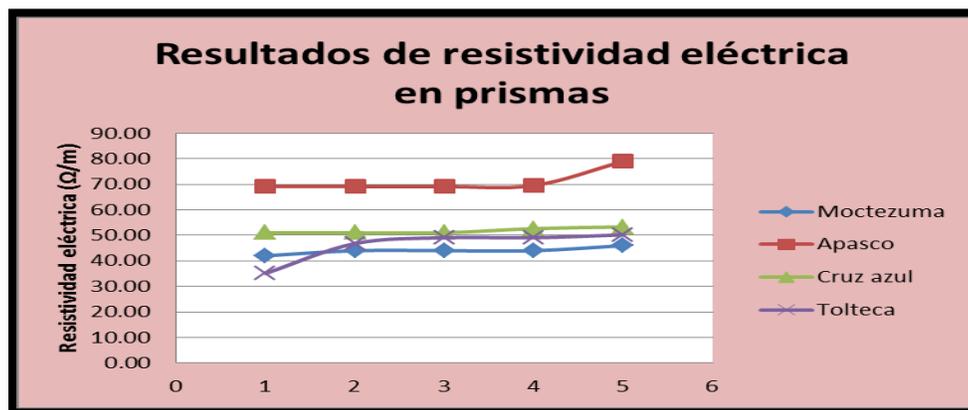
## COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MORTEROS DE ALBAÑILERÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN

En cuanto al ensaye en prismas se refiere se tuvo de la misma manera que en los cubos valores casi identicos en los resultados y basandonos en la tabla 15 , se dice que se encuentra con un mortero de calidad normal para todas las marcas de ensayo.



**Ilustración 106. Resultados obtenidos de la prueba de resistividad eléctrica en cubos a la edad de 28 días.**

En la ilustración 106 se puede observar que se obtuvieron valores casi identicos en dos de las marcas las cuales son Moctezuma y Tolteca y en las otras son marcas se obtuvieron valores por encima de estas dos, el mortero Apasco fue el que resulto con los valores mas altos en todas sus pruebas. De acuerdo a la tabla 16 se tiene que son morteros con riesgo moderado a la corrosión.

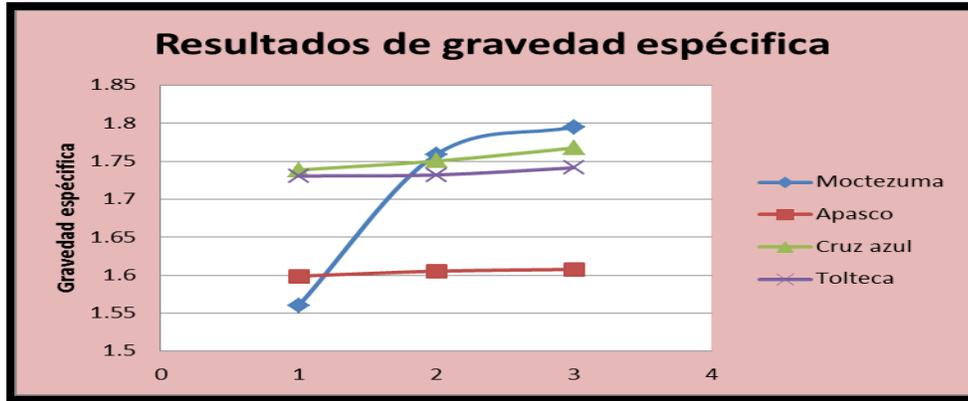


**Ilustración 107. Resultados obtenidos de la prueba de resistividad eléctrica en prismas a la edad de 28 días.**



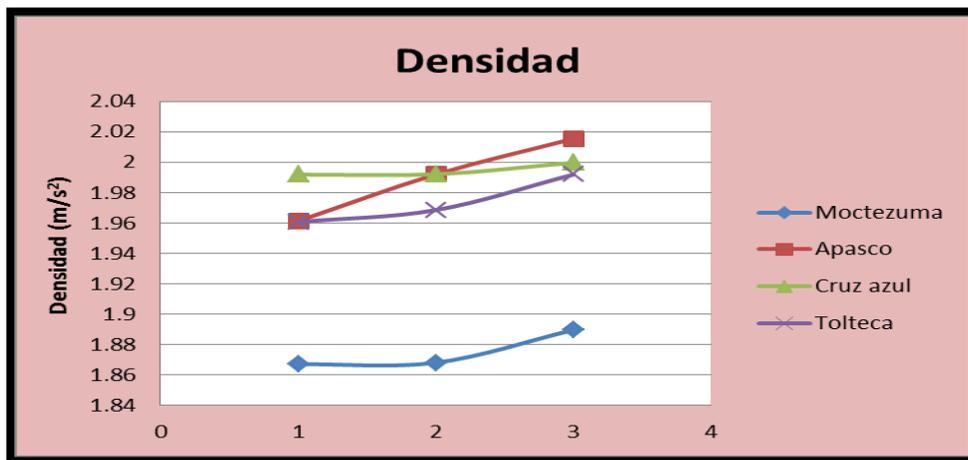
### COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MORTEROS DE ALBAÑILERÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN

En la ilustración 107 muestra que se obtuvieron resultados muy similares al ensaye con los cubos por lo que se puede llegar a la misma conclusión, que se tiene un mortero con riesgo moderado a la corrosión.



**Ilustración 108. Resultados obtenidos de la prueba de gravedad específica a la edad de 28 días.**

En la gravedad especifica se tiene que el mortero que obtuvo los resultados mas bajos viene de menos a mas, que el mortero Apasco se mantuvo con un resultado constante y en lo que se refiere al Mortero Cruz azul y Tolteca los resultados son muy parecidos.

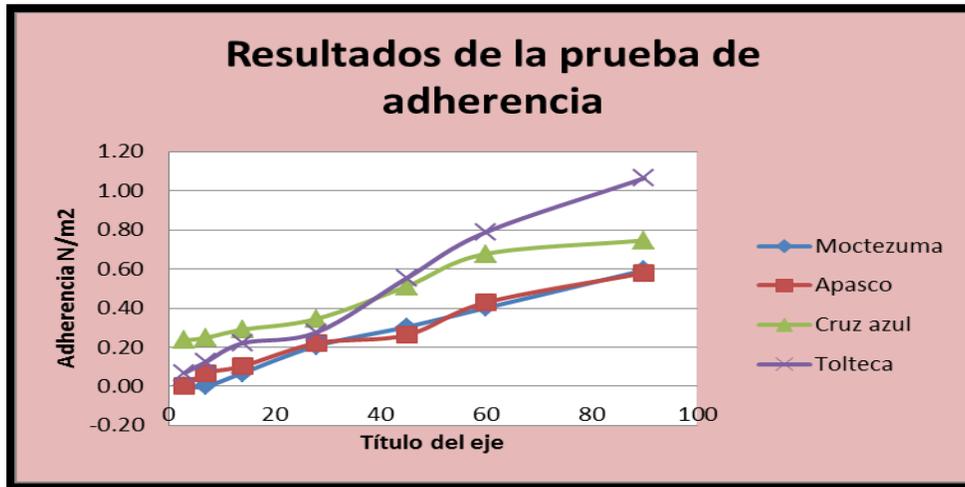


**Ilustración 109. Resultados obtenidos de la prueba de la densidad a la edad de 28 días.**



COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MORTEROS DE ALBAÑILERÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN

La ilustración 109 da como resultado que el mortero mas pesado o denso es el apasco ya que es el que contiene mas unidad de volumen, pero se dieron resultados muy parecidos con el mortero Cruz azul y Apasco y el que muestra menor densidad en su peso es el mortero Moctezuma.



**Ilustración 110. Resultados obtenidos de la prueba de adherencia realizada a los espécimenes de la edad de 3, 7, 14, 28, 45, 60 y 90 días.**

La prueba de la adherencia , es a la que se le proporciono el mayor interes puesto que es la propiedad que para muchos es característica de los morteros.

Los resultados fueron de menos a mas, incrementando sus resultados conforme al paso de los dias, siendo una muy buena señal esa, los morteros Cruz azul, Tolteca y Apasco mostraron fallas por mortero y el mortero Moctezuma dio en dos edades falla en la interfase a la edad de 45 y 600 días, los morteros Apasco y Moctezuma no registraron carga a la edad de 3 días, y el mortero con mas altos resultados en esta ocasión fue el Tolteca.



## 8.- CONCLUSIÓN

La realización de este trabajo de investigación dio como resultado información útil, para la elaboración y empleo de los morteros con mayor demanda en el país.

El proporcionamiento empleado para la elaboración de los especímenes fue el mismo para los morteros en estudio, pero se registraron unos problemas al momento del fraguado ya que en el caso del motero Cruz azul y Tolteca requerian de menor cantidad de agua para su elaboracion pero como la investigación fue enfocada a la comparación se trato de que estos fueran lo más parecidos para que esto no influyera en los resultados, se esperaba que estos, al generar mas sangrado al momento de las pruebas registraran menos carga, pero sucedió lo contrario ya que fueron los que alcanzaron mayores resistencias en las pruebas y los que tenian buena trabajabilidad a la hora de los ensayos.

El mortero Cruz azul aparte tenia otra característica en especial puesto que químicamente reaciona rapidamente al contacto con las manos, independientemente del exceso de agua en su elaboración y trabajabilidad , proporcionaba un buen acabado a los espécimemes en los que se empleaban, y los resultados de esta investigación lo posicionaron muy bien dentro de los cuatro, colocandolo como el que obtuvo las mayores resistencias.

La prueba de adherencia fue muy compleja ya que se esperaban resultados mas altos a los obtenidos, hubo ensayes en los cuales no se registro ninguna carga en las primeras edades, registrandose fallas por la resina epóxica y otras por mortero , esta siendo la falla que se presento con mas frecuencia en las pruebas, pero tambien se encontró la falla por sustrato, en el mortero Moctezuma, este registrando las cargas mas bajas en el ensayo. Para el cálculo de esta prueba se tuvo que buscar un factor, ya que el esfuerzo que generaba el aparato del Pull off es para un area de 50 mm y el área con la que se trabajo en este caso fue de 29. 1 mm, por lo que el factor utilizado fue el de  $\tau = \tau$  dado por el aparato x 1.69 en N/mm<sup>2</sup>.

En cuanto a las pruebas no destructivas se tuvieron valores muy parecidos en todas las marcas en la velocidad de pulso y resistividad eléctrica por lo que se presume que se trabajo con un mortero de buena calidad y riesgo moderado a la corrosión.



## COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MORTEROS DE ALBAÑILERÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN

El mortero que cumple con la mayor parte de las cualidades que se piden para considerar a un mortero de buena calidad es el Cruz azul ya que en gran parte de la investigación fue el que se encontró con los resultados más altos en resistencia y los más estables, en el mortero Tolteca la mejor adherencia, el mortero Apasco mostró resultados satisfactorios en las pruebas no destructivas por lo que se entiende que es el que menor porosidad tiene, y el Moctezuma fue el que generó los resultados menos favorables en todas las pruebas.

Al analizar los resultados obtenidos en las pruebas realizadas a los morteros para comparar su desempeño en cuanto a las propiedades físico - mecánicas a las que fueron ensayadas se concluye que los morteros analizados en esta investigación son adecuados para emplearse en cualquier tipo de obra ya que cumplen con las solicitudes que exigen las normas.

El objetivo principal de esta investigación se logró y el resultado de la comparación determinó que el mortero comercial que resultó con las mejores condiciones comerciales fue el Cruz azul seguido por el Tolteca, posteriormente el Apasco y por último y con las condiciones menos favorables fue el Moctezuma.

Cabe mencionar que no se busca la desacreditación de ninguna marca pero los ensayos realizados en el laboratorio con los agregados pétreos que caracterizaron y el agua empleada brindaron estos resultados.

Con estos resultados el constructor tendrá la información necesaria para elegir que mortero requiere de acuerdo al uso que se dará y tener una idea sobre el resultado que tendrá del mismo dentro de la obra, en cuanto a las propiedades más comunes del mismo.



## 9.- BIBLIOGRAFIA

Alaejos P., Fernández M. (1996). High-performance concrete: requirements for constituent materials and mix proportioning. "ACI Materials journal", (U.S.A.), 93 (3), p. 236.

Alatorre J., Uribe R. (1998). Agregados para concreto: cada cual por su nombre. "Construcción y tecnología," (México), 10 (121), pp. 13-14.

Alba Pérez. (2012). "Tipos de morteros", [en línea]. 2012, [03 de Marzo 2014]. Fórum Ibérico de la cal. Disponible en la web:

[http://www.fical.org/index.php?option=com\\_content&view=article&id=58:tipos-de-morteros&catid=42:clasificacion&Itemid=27](http://www.fical.org/index.php?option=com_content&view=article&id=58:tipos-de-morteros&catid=42:clasificacion&Itemid=27)

Alexander M. (1996). Aggregates and the deformation properties of concrete. "ACI Materials journal," (U.S.A.), 93 (6), p. 576.

Ashurst, J. (1983). Mortars, plasters and renders in conservation, Ecclesiastical Architects and Surveyors Association.

ASTM C 109M, I. (2002). Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens). Estados Unidos.

ASTM C 293. (2002). Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam With Center-Point Loading). Estados Unidos.

Autor, S. (n.d.). Morteros. Biblioteca Digital IMCYC (Instituto Mexicano del Cemento Y del Concreto), Junio 2006

Calvo B., Maya M., Parra J.L. (2001). Caracterización y normalización de materiales de la Construcción. Madrid, España.

Cerón M., Duarte F., Castillo W. (1996). Propiedades físicas de los agregados pétreos de la ciudad de Mérida. "Boletín académico FIUADY," (México), (31), p. 27.

Chan P. (1993). Quantitative analysis of aggregate shape based on fractals. "ACI Materials journal," (U.S.A.), 90 (4), p. 357.

Charles, J. H. (2001). Handbook of Nondestructive Evaluation. Estados Unidos: McGraw-Hill.

Charles, J. H. (2001). Handbook of Nondestructive Evaluation. Estados Unidos: McGraw-Hill.

Furlan, V.; Bisseger, P. (1975) Les mortiers anciens. Histoire et essais d'analyse scientifique. Revue suisse d'Art et d'Archéologie.



COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MORTEROS DE ALBAÑILERÍA  
PARA LA CONSTRUCCIÓN

Ghorab, H.Y.; Ragai, J.; Antar, A. (1986). Surface and bulk properties of ancient Egyptian mortars. Part I: X-ray diffraction studies. Cement and Concrete Research.

IDATERM. (2013). “La importancia del mortero”, [en línea]. 06 de Agosto 2013, [04 de Enero 2014]. Disponible en la web: <http://idaterm.com/blog/la-importancia-del-mortero>

Institute, A. C. (2002). Manual para Supervisar Obras de Concreto ACI 311-99. México, D.F. IMCYC.

Kosmatka S., Panarese W. (1992). “Diseño y control de mezclas de concreto,” IMCYC, México, 1992, pp. 32-34.

Malhotra, V. M., & Carino, C. (2004). Handbook on Nondestructive Testing of Concrete. Boca Raton, U.S.A.: CRC Press.

Malinowski, R. (1982). Ancient mortars and concretes: Aspects of their durability. Histoire of Technology 7th Annual Volume, Mar- sell UK. (\*) Tomado de la Tesis Doctoral “Caracterización de morteros en monumentos históricos navarros” de D. José Ignacio Álvarez Galindo.

Martinet, G. (1991). Les mortiers d'époque pharaonique à Kar- nak. Bull. liaison Labo.P.et Ch. mars-avril.

Mehta K., Monteiro P. (1998). “Concreto, estructura, propiedades y materiales,” IMCYC, México, p. 38.

Neville A. (1999). “Tecnología del concreto,” IMCYC, México, p. 163.

NMX-AA-008-SCFI. (2000). Análisis de agua – Determinación del Ph- Método de prueba. México.

NMX-AA-030-SCFI. (2001). Análisis de agua - Determinación de la demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba. México.

NMX-AA-034-SCFI. (2001). Análisis de agua - Determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba. México.

NMX-AA-072-SCFI. (2001). Análisis de agua- Determinación de dureza total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – Método de prueba. México.

NMX-AA-073-SCFI. (2001). Análisis de agua- Determinación de cloruros totales en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – Método de prueba. México

NMX-AA-093-SCFI. (2000). Análisis de agua- Determinación de la conductividad electrolítica – Método de prueba. México.



COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DE MORTEROS DE ALBAÑILERÍA  
PARA LA CONSTRUCCIÓN

NMX-C-061-ONNCCE (2010). Determinación de la resistencia a la compresión de cementantes Hidráulicos. MEXICO.

NMX-C-122-ONNCCE. (2004). Industria de la construcción – agua para concreto – especificaciones.

NMX-C-148- ONNCCE (2010). Curado de Espécimenes. MEXICO.

NMX-C-414-0NNCCE. (2004). Industria de la Construcción-Concreto-Concreto Hidráulico Industrializado-Especificaciones. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción S.C.

NMX-C-O21-ONNCE. (2004).Industria de la construcción- Cemento para albañilería (Mortero)- Especificaciones y Métodos de ensayo. México.

NMX-C-O57-ONNCE. (2010). Industria de la construcción - Cementantes hidráulicos – Determinación de la consistencia normal. México.

NMX-C-O59-ONNCE. (2010). Industria de la construcción - Cementos hidráulicos - Determinación del tiempo de fraguado de cementantes hidráulico. México.

Özturan T., Çeçen C. (1997). Effect coarse aggregate type on mechanical properties of concretes with different strengths. “Cement and concrete research,” (U.S.A.), 27 (2), p. 165.

Palbol L. (1996). Optimización de los agregados para concreto. “Construcción y tecnología,” (México), 9 (100), p.30.

Ragai, J. (1989). Surface and bulk properties of ancient egyptian mortars. Part V: thermal studies (b). Cement and Concrete Rese- arch.

Ragai, J.; Ghorab, H.Y.; Antar, A. (1987). Surface and bulk properties of ancient egyptian mortars. Part II: adsorption and infrared studies. Cement and Concrete Research.

Sánchez de Guzmán Diego. (2006). Tecnología del concreto y mortero “Pontificia Universidad Javeriana, Biblioteca de la Construcción”

Torres, A. y. (2010). Mejora en la durabilidad de materiales base cemento, utilizando adiciones deshidratadas de dos cactáceas, Publicación Técnica #328, Secretaria de Comunicaciones y Transportes, Instituto Mexicano del Transporte, México.

Uribe R. (1991). El control de calidad en los agregados para concreto 3a parte. “Construcción y tecnología,” (México), (40), p. 34.