



# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

LICENCIATURA EN INGENIERÍA

## CARACTERIZACIÓN DE LA DURABILIDAD DEL MORTERO EN LA CIUDAD DE QUERÉTARO

### TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

**ZULY SARA BARCENAS RAMIREZ**

SANTIAGO DE QUERÉTARO, OCTUBRE 2013



---

# **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO**

LICENCIATURA EN INGENIERÍA

## **CARACTERIZACIÓN DE LA DURABILIDAD DEL MORTERO EN LA CIUDAD DE QUERÉTARO**

### **TESIS**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

**ZULY SARA BARCENAS RAMIREZ**

DIRIGIDO POR:

**Dr. JUAN BOSCO HERNÁNDEZ ZARAGOZA**

SINODALES:

DR. JUAN BOSCO HERNÁNDEZ ZARAGOZA -----

DR. ALFREDO PEREZ GARCIA -----

DRA. TERESA LÓPEZ LARA -----

M I. RUBÉN RAMÍREZ JIMÉNEZ -----

DIRECTOR DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

DR. AURELIO DOMÍNGUEZ GONZÁLES

---

---

## RESÚMEN

A lo largo de los años desde la antigua Roma se ha estudiado la manera de reutilizar material de escombros como morteros en sus edificaciones sin llegar a una alternativa para mitigar la necesidad de mantener un mortero en buen estado, con la capacidad de resistir los cambios bruscos del medio ambiente donde se encuentra, debido a este problema en campo se decide estudiar el mortero aplicando resina en el agua para crear la mezcla comparado con un mortero hecho de la manera tradicional.

La mezcla del Mortero Base o tradicional utilizado está compuesta de un cementante hidráulico, arena y agua, en base a las Normas Mexicanas, donde se establecen las características de los materiales mencionados así como las pruebas que deben hacer a cada uno antes de comenzar a trabajar con ellos; cemento Portland, arena graduada de la región y agua libre de impurezas, se agregan los componentes secos dejando al centro un espacio para recibir el agua esto en un recipiente amplio para poder llevar a cabo la revoltura hasta tener una mezcla homogénea, los moldes de acero que se utilizan para confinar el material miden 5 cm por cada lado, sujetos firmemente a la base con un par de llaves mariposa por molde (tres en cada base) una vez armados se agrega una ligera capa delgada de aceite mineral o de grasa delgada en sus caras interiores, esto para evitar que el material vertido se pegue en ellas; la mezcla se coloca en cuatro capas, cada una será compactada con un pisón 32 veces en 10 segundos, siendo 8 golpes adyacentes repartidos sobre la superficie, en la segunda capa se continua el procedimiento eliminando todo material que sobresalga del molde, una vez concluido el proceso se dan ligeros golpes en los costados del molde para evitar futuras oquedades a causa de las burbujas de aire, el excedente se enrasa con una regleta apoyándola en los lados pasándola una vez de un extremo al otro, al concluir el procedimiento se colocan en el cuarto húmedo durante 20 a 24 horas protegidos del goteo directo, posteriormente los especímenes se desmoldan y

---

---

mantienen en el cuarto húmedo hasta cumplir la edad de ensaye a 3, 7, 14 y 28 días, la prueba de compresión por espécimen se efectúan en la máquina universal, previamente examinada desde la posición inicial de la aguja hasta que la placa que transfiere la carga se encuentre en condiciones de moverse libremente, al llegar el día de ensaye se sacaran las probetas del tanque de almacenamiento manteniéndolas envueltas en un trapo húmedo para evitar perdida de humedad mientras se ensaya una de ellas, la colocación de la probeta en la máquina será después de medir sus lados, con la seguridad que la carga aplicada sea sobre las paredes verticales de la probeta que estuvieron en contacto con el molde, de esta manera la distribución de los esfuerzos se distribuirá en el interior del espécimen.

La mezcla de Mortero con Resina se prepara de la misma forma que la anterior en cuanto a la cantidad de arena y cemento (ver proporciones en Tabla 5. Cantidad de material.), el agua necesaria para esta pasta será en proporción 10:1 agua-resina de la marca Comex. Al tener en la charola las cantidades de arena y cemento debidamente preparadas, del centro del montículo se comienza a extender a los costados creando un espacio (parecido a un cráter de volcán) en el cual se verte la solución compuesta por la resina y el agua previamente mezclada, se aplica poco a poco hasta lograr la consistencia necesaria para poder manipularla.

La cantidad de especímenes arrojados por las dos mezclas fueron de 48 siendo la mita de mezcla de Mortero Base y los otro 24 de Mortero con Resina, de los cuales 12 de los cubos por mezcla se sometieron a impregnaciones de Cloruro de sodio proporción 10:1 agua resina durante un periodo de 30 días, simulando el ataque sufrido por el intemperismo acumulado para las diferentes edades de ensaye 33, 37, 44 y 58 días.

Las lecturas arrojadas por los especímenes permiten relacionar ambas mezclas de manera periódica comparando resultados en cada una de las facetas de esta investigación obteniendo los resultados esperados con la mejora del material al combinar el agua y la resina.

---

---

## DEDICATORIAS

---

---

## **AGRADECIMIENTO**

---

---

## ÍNDICE GENERAL

RESÚMEN .....	i
DEDICATORIAS .....	iii
AGRADECIMIENTO .....	iv
ÍNDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS .....	viii
ÍNDICE DE GRAFICAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Descripción del Problema.....	2
1.2 Antecedentes y Justificación.....	2
1.3 Hipótesis .....	5
1.4 Objetivos.....	5
1.4.1 Objetivo General .....	5
1.4.2 Objetivo Específico .....	5
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
II.1 Nuevos Materiales.....	6
II.2 Mortero.....	7
II.2.1 Tipos de Mortero .....	7
II.2.2 Producción del Mortero en Querétaro .....	11
II.2.3 Usos del Mortero.....	11
II.2.4 Durabilidad del Mortero .....	12
II.3 Lechadas .....	13
II.4 Aditivos .....	13
II.4.1 Aditivos Reductores de Agua .....	13
II.4.2 Aditivos Retardantes .....	13
II.4.3 Aditivos Acelerantes .....	15
II.4.4 Superplastificante o Fluidificante .....	17
II.5 Investigaciones Nacionales e Internacionales .....	18
II.5.1 Uso del Mortero en la Industria de la Construcción.....	18
II.5.2 Caracterización de Morteros Históricos .....	19

---

II.5.3 Deterioro Natural del Mortero .....	22
III METODOLOGÍA.....	23
III.1 Materiales .....	23
III.1.1 Cemento Pórtland.....	23
III.1.2 Cal .....	24
III.1.3 Arena .....	25
III.1.4 Agua .....	26
III.1.5 Resina .....	26
III.1.6 Sal.....	26
III.2 Equipo .....	27
III.2.1 Moldes para Morteros.....	27
III.2.2 Máquina Universal .....	28
III.3 Ensayos.....	30
III.3.1 Determinación de la Consistencia Normal .....	30
III.3.2 Prueba para Determinar la Fluidéz en Morteros de Cemento Hidráulico ....	30
III.3.3 Determinación del Tiempo de Fraguado de Cementantes Hidráulicos .....	31
III.3.4 Determinación de la resistencia a la compresión de cementantes hidráulicos .....	33
IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	41
IV.1 Caracterización del Mortero Base .....	41
IV.2 Determinación del Mortero con Resina.....	42
IV.3 Análisis del Mortero Sometido a Impregnaciones .....	45
IV.4 Ruptura de los Especímenes .....	50
IV.5 Resultados a la Compresión en Morteros Proporción 1:3 (Ensaye de 3 especímenes por día).....	54
IV.6 Resistencia a la Compresión en Morteros con Resina.....	54
IV.7 Ensaye Después de la Impregnación Morteros Base.....	55
IV.8 Datos de Ensaye Después de la Impregnación de Morteros con Resina. ....	55
IV.9 Gráficas Resistencia a la compresión. Ensayes de Mortero Base y Mortero con Resina. ....	56
IV.10 Gráficas Resistencia a la compresión. Ensayes de Mortero Base y Mortero con Resina sometidas a impregnaciones de Cloruro de Sodio (NaCl). ....	58
IV.11 Gráficas Resistencia a la compresión. Comparativa Prueba de Mortero Base y Mortero Base sometida a impregnaciones de Cloruro de Sodio (NaCl). ....	61



---

---

IV.12 Gráficas Resistencia a la compresión. Comparativa Prueba de Mortero con Resina y Mortero con Resina sometida a impregnaciones de Cloruro de Sodio (NaCl).....	64
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	67
V.1 CONCLUSIONES.....	67
V.2 RECOMENDACIONES.....	68
VI. LITERATURA CITADA.....	69

---

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Aplanados, casa habitación México D.F, 2008. ....	3
Figura 2. Pegado de elementos de mampostería.....	3
Figura 3. Elaboración de entortados. ....	4
Figura 4. Tablaroca interiores, Jalisco. ....	6
Figura 5. Durock exteriores.....	6
Figura 6. Aplicación cemento arena. ....	7
Figura 7. Desgaste Mortero de cal. ....	8
Figura 8. Acabado Mortero Mixto.....	8
Figura 9. Plaza de Armas Palacio de la Corregidora (Palacio de Gobierno) antes cárcel del Estado de Querétaro. ....	9
Figura 10. Palacio Municipal, Querétaro. ....	9
Figura 11. Casa de Don Bártolo Sadanetta actualmente Secretaría de Educación.....	10
Figura 12. Teatro de la República.....	10
Figura 13. Efecto de la humedad sobre el material, Casa de Don Bártolo Sadanetta actualmente Secretaría de Educación.....	12
Figura 14. Egipto. Empleaban yeso calcinado en sus construcciones. ....	19
Figura 15. Grecia. Usaban calizas calcinadas. ....	20
Figura 16. Roma. ....	20
Figura 17. Deterioro a causa de la humedad proveniente de la cimentación. Ubicada en el centro de Querétaro.....	22
Figura 18. Cemento utilizado bajo las especificaciones de la norma NMX-C-414-ONNCCE .....	23
Figura 19. Cal utilizada en la región. ....	24
Figura 20. Montículo de Arena.....	25
Figura 21. Cribadora en el Estado. ....	25
Figura 22. Moldes de acero. ....	27
Figura 23. Máquina Universal, Lectura y ensaye a compresión.....	28
Figura 24. Revisión de lectura.....	29
Figura 25. Prensa de Máquina Universal. ....	29
Figura 26. Tapa y charola base de tamices sin residuos de suelos. (Mallas con ancho de entramado; 16, 30, 40,50, 60, 100, 200 de mayor a menor respectivamente).....	35

Figura 27. Máquina de ensaye con columna de tamices. ....	36
Figura 28. Desensamble de tamices después de la vibración y movimientos rotatorios de la máquina de ensaye.. ....	36
Figura 29. Peso del material retenido por tamiz. ....	37
Figura 30. Arena cribada por la malla #4. ....	38
Figura 31. Probeta con 10 cm de solución de trabajo (Cloruro de calcio cristalino, CaCl <sub>2</sub> .6h <sub>2</sub> O, o cloruro de calcio anhidro, CaCl <sub>2</sub> // Glicerina// Solución de formaldehído// Agua destilada o desmineralizada). ....	38
Figura 32. Pasando el tiempo de impregnación se agita de forma horizontal durante 45 seg. ....	39
Figura 33. Se agrega más solución. ....	39
Figura 34. Solución en reposo. ....	40
Figura 35. Moldes fijos con capa de aceite mineral (NMX-C-062-1997-ONNCCE). ...	41
Figura 36. Preparación de la arena. ....	42
Figura 37. Disolución del agua resina hasta homogenizar. ....	42
Figura 38. Una vez preparada la arena se vacía la resina en el centro del material. ....	43
Figura 39. Mezcla de los materiales hasta llegar a la consistencia adecuada en base a la fluidez (Norma NMX-C-144-ONNCCE-2002). ....	43
Figura 40. Se coloca en los compartimentos del molde de los especímenes. ....	44
Figura 41. Con una regleta se quita el excedente de cada molde. ....	44
Figura 42. Moldes con mezcla. ....	45
43. Liberación de especímenes. ....	46
Figura 44. Separación según su material en mezcla (Mortero Base o Mortero Resina)..	46
Figura 45. Especímenes de Mortero Base o Mortero Resina. ....	46
Figura 46. Probetas sometidas a impregnaciones con Cloruro de Sodio en Tanque de almacenamiento (NMX-C-148-ONNCCE-2002). ....	47
Figura 47. Probetas en cuarto húmedo. ....	47
Figura 48. Cuarto húmedo dentro de las instalaciones del laboratorio ....	48
Figura 49. Puerta de cuarto húmedo programada para hidratar solo cuando está cerrada. ....	48
Figura 50. Interior de cuarto húmedo con especímenes en hidratación y tanque de almacenamiento (lo que en obra se le llama curado) ....	49
Figura 51. Se mantienen los especímenes cubiertos con un trapo húmedo antes del ensayo. ....	50
Figura 52. Toma de dimensiones por cara del cubo. ....	51
Figura 53. Colocación del espécimen al centro de la máquina. ....	51

---

Figura 54. Ensayo del espécimen aplicando la carga de manera gradual hasta llegar a la ruptura. ....	52
Figura 55. Los ensayos nos arrojan un patrón de falla (semejándose a un reloj de arena). ....	52
Figura 56. Se toman las dimensiones del espécimen una vez terminado el ensaye. ....	53

## ÍNDICE DE GRAFICAS

Gráfica 1. Curva Granulométrica de la Arena (norma ASTM C 125).....	35
Gráfica 2. Mortero Base y Mortero Resina (Ensaye 1).....	56
Gráfica 3 Mortero Base y Mortero Resina (Ensaye 2).....	57
Gráfica 4. Mortero Base y Mortero Resina (Ensaye 3).....	57
Gráfica 5.Mortero Base y Mortero Resina ambas sometidas a impregnaciones de NaCl (Ensaye 1).....	58
Gráfica 6.Mortero Base y Mortero Resina ambas sometidas a impregnaciones de NaCl (Ensaye 2).....	59
Gráfica 7. Mortero Base y Mortero Resina ambas sometidas a impregnaciones de NaCl (Ensaye 3).....	60
Gráfica 8. Mortero Base y Mortero Base sometida a NaCl (Ensaye 1). ....	61
Gráfica 9. Mortero Base y Mortero Base sometida a NaCl (Ensaye 2). ....	62
Gráfica 10. Mortero Base y Mortero Base sometida a NaCl (Ensaye 3). ....	63
Gráfica 11. Mortero con Resina y Mortero con Resina sometidas en NaCl (Ensaye 1). ....	64
Gráfica 12. Mortero con Resina y Mortero con Resina sometidas en NaCl (Ensaye 2). ....	65
Gráfica 13. Mortero con Resina y Mortero con Resina sometidas en NaCl (Ensaye 3). ....	66

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Efecto del aditivo, estudio realizado en la Universidad de Chile, para el retraso del fraguado.( <a href="http://www.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/Pag_1.htm">www.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/Pag_1.htm</a> ) .....	14
Tabla 2. Tolerancias de tiempo.....	32
Tabla 3. Granulometría de la Arena.....	34
Tabla 4. Equivalente de arenas. ....	38
Tabla 5. Cantidad de material (Especificado NMX-C-414-ONNCCE). ....	40

---

---

Tabla 6. Prueba a compresión de Morteros Prueba Base.....	54
Tabla 7. Prueba a compresión de Morteros Prueba Base.....	54
Tabla 8. Prueba a compresión de Morteros Prueba Base después de ser sometidos a Impregnación.....	55
Tabla 9. Prueba a compresión de Morteros con Resina después de ser sometidos a Impregnación.....	55

---

---

## I. INTRODUCCIÓN

En la industria de la construcción uno de los materiales más utilizados es el mortero producto normalmente elaborado en obra llamado también “Cemento para albañilería” en base a la norma NMX-C-414-ONNCCE denominado así por la mezcla elaborada con un cementante hidráulico, arena y agua, de esta manera y con una correcta ejecución del mezclado la resistencia adquirida debe estar dentro de lo especificado en la norma NMX-C-414-ONNCCE.

Con las normas como apoyo se comienza la búsqueda de materiales encontrando un banco de grava y arena en la Cañada cabecera del Municipio del Marqués situado al Este de la Ciudad de Querétaro, la resina se adquirió en una tienda departamental con el único requisito que la marca fuera Comex, el agua se manejó potable proporcionada en el laboratorio.

Las pruebas para los diferentes materiales para el cumplimiento de las Normas Mexicanas, son: la determinación de la granulometría de la arena, el cemento Portland es el recomendado en el manual por su composición a base de clínker Portland, el agua libre de impurezas se utiliza por practicidad, Resina de la marca COMEX.

Después de mezclar y colocar en cada molde el material se espera la edad de ensaye, las lecturas arrojadas se comparan llegando a la conclusión que los especímenes que incluían resina en su mezcla alcanzan una mayor resistencia a la compresión y por ende durabilidad al exponerlos a ambientes con cambios climáticos extremos.

---

## ***1.1 Descripción del Problema***

La elaboración del Mortero base utilizada en la construcción se caracteriza por su resistencia a la compresión y absorción de agua mientras que el Mortero con Resina compartiendo las características anteriores nos arroja mayor capacidad de carga después de ser sometido a inmersiones en solución salina.

Dentro de la industria de la construcción se ha utilizado el mortero, por sus propiedades y facilidad de colocación en diferentes áreas con la finalidad de alcanzar su periodo estimado de vida siendo reducido por la apariencia al reaccionar con agentes externos encontrados en el ambiente, de ahí surge la idea que nos lleva a proponer un aditivo dentro de la mezcla el cual tendrá la función de darle una durabilidad superior a la adquirida en una mezcla base de proporción 1:3 (cemento arena), para extender la vida útil evitando ser afectado por los ataques del medio en que se encuentra.

## ***1.2 Antecedentes y Justificación***

El mortero es una mezcla de cemento hidráulico, arena, agua y en algunos casos aditivos.

El mortero es un producto de gran versatilidad en la industria de la construcción, tanto para realizar trabajos de albañilería de alta calidad, como para la composición de elementos no estructurales.

Gracias a su aplicación directa, simplifica el trabajo de obra, lo que influye favorablemente en el costo y calidad para optimizar recursos tanto físicos como humanos.

Aplicaciones del mortero:



**Figura 1. Aplanados, casa habitación México D.F, 2008.**

Colocació

n de un mortero en techo de construcción para proteger los elementos constructivos de la intemperie.



**Figura 2. Pegado de elementos de mampostería.**

Unión de ladrillos con mortero cemento creando hiladas horizontales una sobre otra hasta alcanzar la altura deseada.





**Figura 3. Elaboración de entortados.**

Aplicación de mortero cemento en azotea con pendiente para desalojar el agua pluvial.

Nivelación de firmes

Los morteros forman parte de los materiales de construcción que se han venido utilizando desde la más remota antigüedad, habiendo seguido la evolución de los conocimientos empíricos y, sobre todo, de los científicos y técnicos a lo largo del tiempo, tanto en lo que se refiere a sus componentes como a la tecnología de su fabricación y puesta en obra.

La fabricación de morteros ha experimentado cambios importantes, pasando de una fabricación artesanal a una fabricación industrial, utilizando productos de calidad y procedimientos industriales que le permitan garantizar la producción de morteros de calidad.

Desde este punto de vista, y debido a su impulso tecnológico, los morteros no han quedado relegados a un segundo plano. Gracias al diseño de mezclas de acuerdo con su aplicación, a los procesos de elaboración y manipulación, así como a los sistemas de puesta en obra, las propiedades de los morteros se pueden ver modificadas profundamente y responder a unas condiciones y características determinadas, y aun

---

---

mejorándolas, por lo que los morteros se hacen imprescindibles en cualquier edificación.

Por otra parte conviene tener en cuenta que los productos o materiales utilizados en la fabricación de morteros, así como el conocimiento de los fenómenos fisicoquímicos que tienen lugar y de los procesos tecnológicos han influido en el estado actual de la industria de morteros, dando lugar a los morteros preparados en fábrica o morteros industriales ya sean morteros preparados parcialmente (morteros secos) o totalmente (morteros húmedos) y a los morteros industriales semiterminados o predosificados.

Como es sabido la actividad artesanal, no solo en este campo, ha disminuido extraordinariamente y en determinados casos- ha desaparecido, transformándose en otra actividad industrial. En estas transformaciones los morteros no han quedado olvidados y así, hoy día, tenemos en este campo una industria moderna.

### ***1.3 Hipótesis***

- ❖ Un mortero sin resina disminuye su resistencia a la compresión y un mortero con resina aumenta su resistencia después de sumergir los especímenes en cloruro de sodio.

### ***1.4 Objetivos***

#### **1.4.1 Objetivo General**

- ❖ Conocer las propiedades mecánicas de los morteros base sin resina.
- ❖ Mejoramiento de los morteros a través de impregnaciones con resina.

#### **1.4.2 Objetivo Específico**

- ❖ Conocer la vida útil de los morteros cuando trabajan impregnados de sales.

---

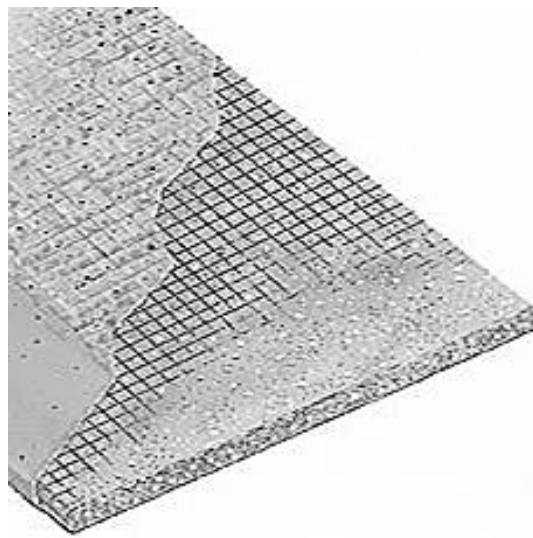
## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### *II.1 Nuevos Materiales*



**Figura 4. Tablaroca interiores, Jalisco.**

Muros divisorios de tablaroca conformados por paneles de yeso y perfiles de acero aplicados como muros divisorios o detalles arquitectónicos.



**Figura 5. Durock exteriores**

Muros divisorios de Durock a base de paneles de fibrocemento.

---

## ***II.2 Mortero***

### **II.2.1 Tipos de Mortero**

Actualmente y debido a la demanda obtenida por este material y a la diversidad de usos se ha clasificado el mortero en tres tipos variándose en la constitución de sus propiedades;



**Figura 6. Aplicación cemento arena.**

El primero se compone de una mezcla de *cemento y arena*, como es poco flexible, es fácil que se resquebraje, sin embargo una de las ventajas respecto a otros tipos de cemento es su gran resistencia y la rapidez con la que se seca y endurece.



**Figura 7. Desgaste Mortero de cal.**

El segundo es el *mortero de cal*, en el que se amasa este producto con arena, tiene como prioridad la fácil aplicación y untuoso. Pese a que es menos resistente e impermeable que el mortero de cemento.



**Figura 8. Acabado Mortero Mixto.**

Existe un *mortero mixto* compuesto por cemento, cal y arena que aúna las cualidades de los dos anteriores. Si en la masa se pone más cemento que cal será más resistente y si la cantidad de cal es mayor será más susceptible a la erosión.



**Figura 9. Plaza de Armas Palacio de la Corregidora (Palacio de Gobierno) antes cárcel del Estado de Querétaro.**

La arquitectura está compuesta en su totalidad por cubierta de mortero.



**Figura 10. Palacio Municipal, Querétaro.**

Acabado de cantera rosa en toda su fachada con pequeños ataques por erosión.



**Figura 11. Casa de Don Bartolo Sadanetta actualmente Secretaría de Educación..**

Vista nocturna de las oficinas previa restauración por humedad.



**Figura 12. Teatro de la República.**

Ubicado al centro del Estado, con un aspecto impecable gracias a los continuos trabajos de mantenimiento.

---

---

## **II.2.2 Producción del Mortero en Querétaro**

Es una mezcla especial de cemento, arena y aditivos en seco, que permite su uso al mezclar solamente la cantidad necesaria.

Los morteros se preparan batiendo los elementos de que se componen, hasta que cada grano de arena quede envuelto por la pasta; pero el batimiento no debe ser excesivo, por la influencia que acabamos de ver tiene el rebatido en los productos hidráulicos. Un batido excesivo no tiene objeto tampoco en las cales ordinarias, porque aun suponiendo que el mortero mejore, nunca compensará su mejor calidad al aumento de trabajo y, por consiguiente, de gasto.

## **II.2.3 Usos del Mortero**

La Construcción se ha utilizado como pegamento dentro de las estructuras siendo una de las funciones en la cual su aplicación es la idónea para su mejor trabajabilidad, aunque la mayor proporción es utilizada en acabados como es el aplanado y el firme pulido.

La Arquitectura una de las ramas que lo considera como el material con mayor manejabilidad para recubrimiento y acabados de las esculturas siendo estas las más perjudicadas al estar expuestas a la intemperie siendo dañadas por los cambios climáticos.

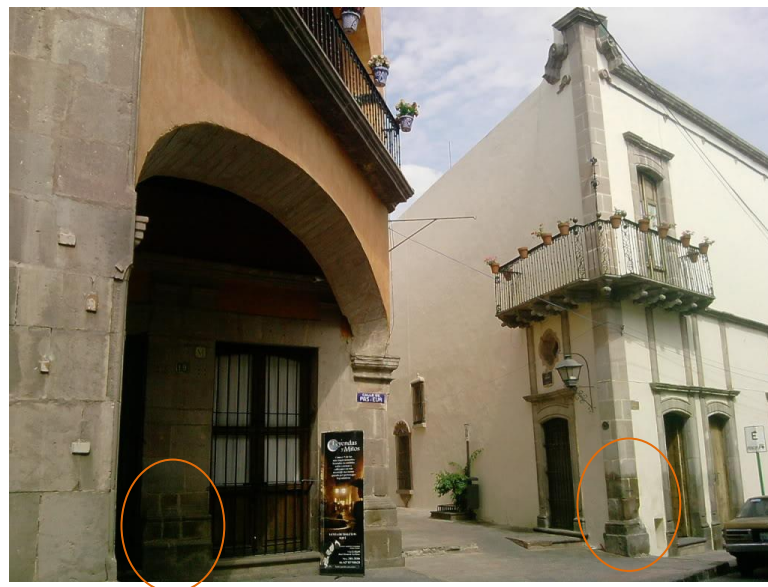


---

## II.2.4 Durabilidad del Mortero

Considerada una larga vida de servicio, según el comité ACI 201, la durabilidad del concreto de cemento Pórtland es definida como la capacidad para resistir a la acción del tiempo, los ataques químicos, la abrasión o cualquier otro proceso de deterioro; es decir, el concreto durable retendrá su forma original, su calidad y su servicio cuando se exponga a su medio ambiente.

Basado en que ningún material es específicamente durable; como resultado de interacciones ambientales, micro estructura y consecuentemente las propiedades de los materiales, cambian con el tiempo. Se supone que un material alcanza el final de su vida de servicio, cuando sus propiedades bajo ciertas condiciones de uso se han deteriorado a tal punto que continuar utilizando el material se considera inseguro y por consecuencia antieconómico.



**Figura 13. Efecto de la humedad sobre el material, Casa de Don Bártoolo Sadanetta actualmente Secretaría de Educación..**

---

### ***II.3 Lechadas***

Unos de los componentes son masa clara de cal, yeso o argamasa empleados en trabajos de construcción o para blanquear.

### ***II.4 Aditivos***

Es particularmente un producto incorporado que modifica en estado fresco y/o endurecido alguna de sus características como la trabajabilidad e impermeabilidad.

#### **II.4.1 Aditivos Reductores de Agua**

De acuerdo con la norma ASTM 494-92, los aditivos que solo son reductores de agua son llamados Tipo A pero si están asociados con retardantes se clasifican Tipo D. Existen también aditivos reductores de agua y acelerantes (Tipo E). Si el aditivo reductor de agua produce, como efecto lateral, retraso de fraguado, este se puede combatir mediante la incorporación de trietanolamina.

La función de los aditivos reductores de agua es reducir el contenido del agua de la mezcla en un 5 a 10 %, algunas veces hasta el 15 % (en concretos de trabajabilidad muy alta). Así el fin de utilizar este tipo de aditivos es permitir una reducción en la relación agua-cemento mientras se conserva la trabajabilidad. Aunque no se deberá emplear agregado de mala granulometría, los aditivos reductores de agua mejoran las propiedades del concreto fresco hecho con agregado de granulometría pobre. El concreto que contiene un aditivo reductor de agua generalmente muestra segregación baja y buena plasticidad. Los aditivos reductores de agua también se pueden utilizar en concreto bombeado.

#### **II.4.2 Aditivos Retardantes**

Se puede lograr un retraso en el fraguado de la pasta de cemento con la adición a la mezcla de un aditivo retardante ASTM Tipo B. Los retardantes hacen también lento el endurecimiento de la pasta, aunque unas sales pueden acelerar el fraguado pero inhibir

---

---

el desarrollo de resistencia. Los retardantes no alteran la composición o identidad de los productos de hidratación.

Su función principal es retardar el principio de fraguado de la pasta de cemento, manteniendo constante, en lo que sea posible, el tiempo de fraguado y las resistencias en las distintas edades.

El mecanismo de acción de los retardadores no es totalmente conocido. Sin embargo se supone que el aditivo es absorbido por los granos de cemento, produciéndose una capa relativamente impermeable, la cual posterga el proceso de hidratación normal, en particular del aluminato tricalcico.

Esta capa es finalmente penetrada por el agua, iniciándose el fraguado de acuerdo a su mecanismo habitual.

Efecto sobre el tiempo de fraguado

El efecto varía según el producto y la dosis empleada como se aprecia en la siguiente tabla.

Producto	Dosis	Principio de fraguado (h)	Fin de fraguado (h)
Sin aditivo	0	3.10	7.00
Sacarosa	0.50 %	5.30	13.00
	1.00%	10.00	16.00
Glucosa	1.00%	9.00	15.00
	2.00%	14.00	22.30
Ácido fosfórico	0.50%	4.50	12.00
	1.00%	6.00	14.00
	2.00%	8.00	20.00

**Tabla 1. Efecto del aditivo, estudio realizado en la Universidad de Chile, para el retraso del fraguado.([www.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/Pag 1.htm](http://www.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/Pag 1.htm))**

Efecto sobre el calor de hidratación

---

---

En general, las experiencias demuestran que el calor desprendido en las primeras 24 horas es tanto más bajo cuanto mayor haya sido el retardo producido. Sin embargo, el calor total desarrollado es igual después de algunos días y a los 7 días puede ser incluso superior el del mortero con el retardador que sin él.

#### Efecto sobre las resistencias mecánicas

En general, las experiencias indican que las resistencias mecánicas son inferiores hasta los 3 días, pero después de esta edad tienden a igualarse para superarse a los 28 y 90 días, efecto que es tanto más notorio cuanto mayor sea el retardo.

#### Efecto sobre la retracción

Tal como se manifiesta con las otras características del hormigón, algunas experiencias efectuadas indican que aparentemente el empleo de un aditivo retardador disminuye la retracción inicial, pero el valor final de esta puede aumentar por sobre el del hormigón sin aditivo. Sin embargo debe señalarse

que este punto no ha sido lo suficientemente investigado para establecer su plena validez.

#### Efecto sobre la trabajabilidad

En general los retardadores tienen un efecto plastificante sobre el hormigón fresco, mejorando la docilidad o permitiendo una reducción del agua de amasado.

### **II.4.3 Aditivos Acelerantes**

Los aditivos acelerantes de la norma ASTM Tipo C. Su función principal es acelerar el desarrollo temprano de la resistencia del concreto, es decir el endurecimiento. Aunque también pueden acelerar el fraguado. Si se requiere hacer diferencia entre las dos funciones, puede ser útil referirse a las propiedades de aceleración del fraguado.

Son productos que adelantan el inicio de fraguado y aceleran el endurecimiento, permitiendo la obtención de resistencias más altas a edades tempranas.

---

Las investigaciones han demostrado que los aceleradores inorgánicos actúan principalmente acelerando la hidratación del silicato tricálcico, y, en algunos casos, también la del aluminato tricálcico, como ocurre con algunos aceleradores capaces de producir un fraguado casi instantáneo.

Los aceleradores producen un aumento de la resistencia inicial del hormigón, principalmente en los primeros días, acortando, además, los tiempos inicial y final de fraguado.

Por estas características, los aceleradores son utilizados con los siguientes fines: Cuando se desea reducir el periodo de espera para la puesta en servicio de un elemento estructural.

Para atenuar el efecto retardador producido sobre las resistencias iniciales del hormigón en los periodos de baja temperatura.

#### Efecto

El efecto producido por un acelerador depende de la dosis de cemento, por lo que no es posible dar valores medios sobre su efecto, el cual debe ser estudiado en cada caso en particular.

Como puede verse, las resistencias mecánicas a la compresión se ven fuertemente aumentadas en las primeras edades (1 día), efecto que tiende a disminuir a edades superiores (7 días), por lo que puede preverse que tenderán a igualarse a edades superiores, pudiendo incluso esperarse resistencias más bajas a edades sobre 28 días.

#### Efecto sobre la retracción

La retracción hidráulica posterior al fraguado de la pasta de cemento se ve aumentada por la adición de cloruros, con lo que también aumenta el riesgo de fisuración.

---

---

## II.4.4 Superplastificante o Fluidificante

Son reductores de agua. Suelen ser altamente distintos en su naturaleza y hacen posible la producción de concreto que en su estado fresco o endurecido, es considerado diferente del concreto hecho utilizando aditivos Tipo A, D, y E. Por esta razón se clasifican aparte en la norma ASTM C 494-92, y se estudian por separado.

Corresponden a una nueva generación de aditivo plastificadores en base a productos melamínicos o naftalínicos, constituyendo una evolución de los aditivos reductores de agua, en que la absorción y la capacidad de dispersión del cemento es mucho más acentuada.

Esto se traduce en un enorme aumento de la trabajabilidad del hormigón, sin modificar la cantidad de agua. El resultado es un hormigón muy fluido (autonivelante), de baja tendencia a la segregación.

Pueden utilizarse también como reductores de agua, siendo posible en este caso, dado su apreciable efecto, alcanzar disminuciones en la cantidad de agua entre 20% y 30%. Ello permite obtener un fuerte incremento en las resistencias, especialmente en las primeras edades, por lo que pueden utilizarse como aceleradores de endurecimiento o aditivos para hormigones de alta resistencia.

### -Efectos

Los superplastificadores se emplean en dosis mayores que los plastificadores reductores de agua, (0.8 a 3%) y pueden ser agregados al final del amasado sin diluir previamente en el agua.

El efecto sobre la trabajabilidad del hormigón se mantiene entre 30 y 60 minutos según el aditivo, característica que hace conveniente agregarlo inmediatamente antes del término del amasado y obliga a una rápida colocación.

El efecto se termina una vez transcurrido el tiempo señalado, volviendo el hormigón a su docilidad inicial. Eventualmente puede agregarse una nueva dosis, remezclando el hormigón con el fin de prolongar el efecto por otro periodo.

---

Los hormigones fluidos obtenidos con estos aditivos pueden ser colocados con gran facilidad, pues son prácticamente auto nivelantes y por lo tanto se reduce el trabajo de colocación y se elimina la necesidad de vibrar salvo en zonas densamente armadas.

Cuando los aditivos fluidificantes se emplean como reductores de agua se obtiene un incremento de algunas características del hormigón endurecido, especialmente su resistencia, durabilidad e impermeabilidad.

Por otra parte, debido a que no producen incorporación de aire, el efecto en las resistencias es superior al obtenido con los plastificantes-reductores de agua, especialmente en las primeras edades, lo que resulta muy conveniente para su empleo en hormigones pretensados, prefabricado y obras en que se requiere desarrollo rápido de resistencias.

Otro factor importante a tener en consideración, es sobre la base de ensayos de laboratorio y aplicaciones en obra indican que la sobredosis de aditivo súper plastificantes o su aplicación en un hormigón de composición inadecuada puede producir una fuerte segregación, depositándose las partículas sólidas en una masa compacta y dura, mientras el agua de amasado sube a la superficie del hormigón.

## ***II.5 Investigaciones Nacionales e Internacionales***

### **II.5.1 Uso del Mortero en la Industria de la Construcción**

En trabajos de albañilería, el uso del mortero es muy común. Dependiendo de la actividad que se lleve a cabo, se utilizará un tipo de mortero determinado. Esta mezcla se emplea en el revestimiento de paredes, en el alicatado o en la confección de muros de ladrillo.

Sus características más importantes son su probada resistencia, su gran fuerza de cohesión, su adherencia al soporte, su capacidad impermeable, su cada vez mayor rapidez al fraguar debida a los aditivos empleados y su estabilidad con el paso del tiempo.

---

## II.5.2 Caracterización de Morteros Históricos

El hormigón es un material muy antiguo, proviene de una mezcla de materiales que ahora conocemos con el nombre de mortero. El material que utilizaban era el cementante.



**Figura 14. Egipto. Empleaban yeso calcinado en sus construcciones.**





**Figura 15. Grecia. Usaban calizas calcinadas.**



**Figura 16. Roma.**

Molían cenizas volcánicas junto con cal viva. En Puteoli (hoy ciudad llamada Pozzuoli) se encontraba un depósito de estas cenizas, de ahí que a este cemento se le llamase ¡cemento de puzolana o puzolánico.

---

---

EDAD MEDIA: el empleo del hormigón como material estructural decayó al igual que su calidad.

S. XIX: aparece el cemento artificial, ¡cemento portland! el cual ha tenido gran auge y desarrollo técnico; su nombre es debido a que el color del hormigón obtenido se parecía a la piedra natural de la zona de Portland (al sur de Inglaterra). Fue en este silo cuando se produjeron las primeras experiencias de hormigón armado.

S.XX: en los comienzos de este siglo se realizan las primeras construcciones y publicaciones técnicas así como las primeras normativas con hormigón armado.

HOY en día es el material de mayor uso tanto en la Arquitectura como en la Ingeniería. Fue un producto que nació intentando igualar al acero y lo supero, ya que presenta ciertas mejoras, como:

Conservación: el problema que presenta el acero es la oxidación, lo que obliga a conservarlo; la conservación básica para el hormigón radica en el diseño de la estructura.

Enlace: el enlace en las estructuras metálicas recuerda a los enlaces en madera, complicados, mientras que el hormigón es monolítico. Soluciones espaciales: impensables en acero.

La historia del cemento es la historia misma del hombre en la búsqueda de un espacio para vivir con la mayor comodidad, seguridad y protección posible. Desde que el ser humano supero la época de las cavernas, han aplicado sus mayores esfuerzos a delimitar su espacio vital, satisfaciendo primero sus necesidades de vivienda y después levantando construcciones con requerimientos específicos.

Templos, palacios, museos son el resultado del esfuerzo que constituye las bases para el progreso de la humanidad. El pueblo egipcio ya utilizaba un mortero – mezcla de arena con materia cementoza – para unir bloques y losas de piedra al elegir sus asombrosas construcciones. Los constructores griegos y romanos descubrieron que ciertos depósitos volcánicos, mezclados con caliza y arena producían un mortero de gran fuerza, capaz de resistir la acción del agua, dulce o salada. Un material volcánico muy apropiado para

---

estar aplicaciones lo encontraron los romanos en un lugar llamado Pozzuoli con el que aun actualmente lo conocemos como puzolana. El nombre del cemento Portland le fue dado por la similitud que éste tenía con la piedra de la isla de Portland del canal inglés. La aparición de este cemento y de su producto resultante el concreto ha sido un factor determinante para que el mundo adquiriera una fisionomía diferente. Edificios, calles, avenidas, carreteras, presas y canales, fabricas, talleres y casas, dentro del más alto rango de tamaño y variedades nos dan un mundo nuevo de comodidad, de protección y belleza donde realizar nuestros más ansiados anhelos, un mundo nuevo para trabajar, para crecer, para progresar, para vivir.

### **II.5.3 Deterioro Natural del Mortero**

Es la pérdida del material de forma superficial, provocada por acciones mecánicas entre las que se pueden distinguir dos causas como son el Impacto y Rozamiento. Como consecuencia del uso continuo y habitual, provocan deterioro puntual y desgaste en zonas accesibles, siendo más vulnerables las esquinas por su mayor nivel de exposición, lo cual exige soluciones que aporten mayor resistencia a las superficies.



**Figura 17. Deterioro a causa de la humedad proveniente de la cimentación. Ubicada en el centro de Querétaro.**

---

## III METODOLOGÍA

### *III.1 Materiales*

#### **III.1.1 Cemento Pórtland**

Considerando el empleo del Cemento Pórtland debe cumplir las especificaciones de calidad establecidas por ASTM C150 y NMX-C-414-ONNCCE-1999 al igual que las condiciones que estipule el pliego de recepción de cementos vigentes en el Estado de Querétaro, así como Cemento de albañilería cumpliendo con las normas ASTM C91 o NMX-C-021- ONNCCE, actualmente el RC-97 y normas UNE-EN.

La clase resistente de los cementos es aconsejable que sea como máximo de 32,5 N/mm<sup>2</sup>, utilizándose a veces cementos de clases resistentes 22,5 y 32,5 en el caso de utilizar cementos blancos. Hay que tener en cuenta que cuanto mayor es la clase resistente del cemento menor es la plasticidad del mortero. En el caso de utilizar morteros blancos o de color se utiliza cemento blanco con o sin cal y áridos blancos procedentes normalmente de mármoles machacados, o calizas caoliníticas.



**Figura 18. Cemento utilizado bajo las especificaciones de la norma NMX-C-414-ONNCCE**

---

### III.1.2 Cal

La cal se utiliza en la fabricación de los morteros con dos conglomerantes, cemento y cal, con lo que se mejoran la plasticidad, trabajabilidad, la adherencia, la retención de agua, dando una mezcla de color más claro cumpliendo con los requisitos especificados en la norma NMX-C-003-ONNCCE. Lo habitual es la utilización de cales aéreas dada la escasa producción de cales hidráulicas.

Considerando el empleo del Cemento Pórtland debe cumplir las especificaciones de calidad establecidas por ASTM C150 y NMX-C-414-ONNCCE-1999 al igual que las condiciones que estipule el pliego de recepción de cementos vigentes en el Estado de Querétaro, así como Cemento de albañilería cumpliendo con las normas ASTM C91 o NMX-C-021- ONNCCE, actualmente el RC-97 y normas UNE-EN.

Hay que tener en cuenta que cuanto mayor es la clase resistente del cemento menor es la plasticidad del mortero. En el caso de utilizar morteros blancos o de color se utiliza cemento blanco con o sin cal y áridos blancos procedentes normalmente de mármoles machacados, o calizas caoliníticas.



**Figura 19. Cal utilizada en la región.**

---

### III.1.3 Arena

La arena utilizada se basa en las condiciones y la granulometría establecidas en la norma ASTM C144 o NMX-C-111.

La arena es extraída de minas, río, o producto de la trituración de rocas, siendo un componente el cual pasa por el tamiz de cinco milímetros de la UNE 7050, utilizándose árido silicio o calizo habitualmente, el conglomerante utilizado es el cemento pudiéndose utilizar mezclas de cemento y cal,



**Figura 20. Montículo de Arena.**



**Figura 21. Cribadora en el Estado.**

---

### **III.1.4 Agua**

El agua de mezclado utilizada es generalmente la del abastecimiento público permaneciendo en depósitos limpios y demás especificaciones basadas en la norma NMX-C-122.

### **III.1.5 Resina**

Adhesivo elaborado a base de resinas acrílicas, que mejora la adherencia de las pastas. El aditivo utilizado comercialmente llamado Pracktico Tirol de la marca Comex.



### **III.1.6 Sal**

Sal de grano de cocina de la marca Roche, compuesta por Cloruro de Sodio, Dióxido de Silicio, Yodato de Potasio de 34 a 68 miligramos por kilogramo de sal y Ferrocianuro de Sodio.

---

## **III.2 Equipo**

### **III.2.1 Moldes para Morteros.**

Los moldes para probetas de acero inoxidable marcados en la norma NMX-C-61, sujetos fijamente a su base para evitar el movimiento al colocar el material tendrán una dimensión de 5 cm de lado.



**Figura 22. Moldes de acero.**



---

### III.2.2 Máquina Universal

La máquina tiene una capacidad de 150 toneladas, la cual se debe calibrar antes de la prueba para obtener una lectura más exacta cumpliendo con los requisitos de la norma NMX-C-061.



**Figura 23. Máquina Universal, Lectura y ensaye a compresión.**



**Figura 24. Revisión de lectura.**



**Figura 25. Prensa de Máquina Universal.**

---

## **III.3 Ensayos**

### **III.3.1 Determinación de la Consistencia Normal**

Para determinar el principio y final de fraguado del cemento, es necesario determinar primeramente el contenido de agua que la pasta necesita para producir una pasta normal, es decir el contenido de agua que el cemento necesita para adquirir una 'consistencia normal'

La consistencia se mide por medio del aparato de Vicat, utilizando un émbolo de 10 mm de diámetro, acondicionado dentro se coloca en la forma prescrita por la NMX-C-059 y se coloca en el molde. Enseguida se coloca el émbolo en contacto con la superficie superior de la pasta y se suelta. Por la acción del propio peso del émbolo, éste penetra en la pasta, y la profundidad de penetración depende de la consistencia de la pasta.

La pasta se considera de consistencia normal cuando la sonda penetra 10 milímetros  $\pm$  1 milímetro a los 30 segundos de haber sido soltada, cuando el émbolo o sonda penetra en la pasta hasta un punto distante a 5 o 7 mm del fondo del molde, adquiere su consistencia normal.

### **III.3.2 Prueba para Determinar la Fluidéz en Morteros de Cemento Hidráulico**

La parte superior del platillo debe limpiarse y secarse cuidadosamente, y colocarse el molde al centro. Se pone en el molde una capa de mortero aproximadamente de 25 mm de espesor que se compacta 20 veces con el pisón. La presión para compactar debe ser la necesaria para asegurar un llenado uniforme del molde. A continuación el molde se llena totalmente como se especificó para la primera capa. Se enrasa la superficie del mortero pesando el filo de una cuchara de moldeo ( que se sostiene casi perpendicular al molde) con un movimiento de aserrado sobre el molde superior del molde. Se limpia y se seca cuidadosamente la parte del platillo de la mesa

---

---

de fluidez no cubierta por el molde teniendo especial cuidado de hacerlo en la intersección de la base inferior del molde con la mesa de fluidez.

Al transcurrir un minuto a partir del momento de haber terminado el mezclado, se levanta el molde, el platillo se deja caer, 25 veces en 15 segundos, de una altura de 12.7 mm. La fluidez es el incremento del diámetro de la base de la masa del mortero, expresado como porcentaje del diámetro de la base original. El diámetro considerado del mortero debe ser el promedio de por lo menos 4 mediciones de diámetro de 45° aproximadamente. Se deben hacer mezclas de prueba variando los porcentajes de agua hasta obtener la fluidez especificada. Cada prueba se debe hacer con un nuevo mortero.

Para cemento Pórtland, en el que no se hace la prueba de fluidez, se deja que el mortero permanezca dentro de la olla durante 90 s sin cubrir y se deberá bajar el material adherido a los lados de la olla durante los últimos 15 s de este período, luego se vuelve a mezclar durante 15 s a la velocidad media, antes de moldear los especímenes. Al terminar el mezclado el mortero adherido a la paleta se deposita dentro de la olla de mezclado

### **III.3.3 Determinación del Tiempo de Fraguado de Cementantes Hidráulicos**

#### **❖ Almacenamiento de los especímenes.**

Inmediatamente después de elaborar los especímenes, con su molde y sobre su placa, se colocan en la cámara o gabinete húmedos dejando sus superficies expuestas al ambiente, pero protegidas del goteo directo. Los especímenes deben permanecer dentro de los moldes durante 20 a 24 h; en caso de que se retiren de los moldes antes de las 24 h debe conservarse en la cámara o gabinete húmedos hasta que se cumpla esta edad. Al cumplir esta edad, los especímenes se sumergen en agua saturada de cal en los tanques de almacenamiento, construidos de material no corrosivo. El agua de los tanques se debe mantener limpia, renovándola frecuentemente y conservando la saturación de cal.

#### **❖ Ruptura de los especímenes.**

---

---

Al cumplir la edad de prueba, los especímenes se retiran de la cámara o gabinete húmedos o bien de los tanques de almacenamiento y se prueban de inmediato, con las tolerancias de tiempo que se especifican a continuación.

**Tabla 2. Tolerancias de tiempo.**

Edad de Prueba	Tolerancia
24 h (horas)	30 min
3 d (días)	1 hora
7 d (días)	3 horas
28 d (días)	12 horas

Las tolerancias se toman en cuenta a partir del momento en que se retiran los especímenes de la cámara o gabinete húmedos para las pruebas de 24 hrs y del agua de curado para las pruebas a las demás edades.

Si se extrae de la cámara húmeda más de un espécimen a la vez para la prueba de 24 hrs, dichos especímenes se deben cubrir con un trapo húmedo hasta el momento de la prueba.

Si más de un espécimen se saca del tanque de almacenamiento para probarse a otras edades, dichos especímenes se deben colocar hasta el momento de la prueba en un recipiente con agua, que los cubra por completo y cuya temperatura sea de 23°C.

Para obtener resultados confiables en las pruebas, es necesario que las caras de los especímenes que se usen sean superficies planas. Es importante conservar los moldes escrupulosamente limpios para evitar irregularidades.

Los implementos que se usen para la limpieza de los moldes deben ser de material más suave que estos, a fin de no causarles desgaste. Cada espécimen se debe secar superficialmente y quitar los granos sueltos de arena y las incrustaciones de aquellas caras que harán contacto con las placas de la máquina. Se debe comprobar que dichas caras sean planas mediante el uso de una regla.

---

---

### II.3.4 Determinación de la resistencia a la compresión de cementantes hidráulicos

En las pruebas de tensión, la fractura de la pieza probada generalmente significa falla, de acuerdo a la norma NTCM-95 resistencia a la compresión del mortero: en la compresión, la pieza probada bajo especificaciones de la norma NMX-C-061 se considera que ha fallado cuando no habiendo señas de fractura externa visible, el agrietamiento interno es tan avanzado que el espécimen es incapaz de soportar una carga mayor sin fracturarse.

La carga se debe aplicar sobre las caras de los especímenes que estuvieron en contacto con las paredes verticales del molde. El espécimen se coloca en la máquina centrándolo cuidadosamente con respecto a la placa superior. No se debe usar materiales elásticos o de cabeceo. Antes de la prueba de cada espécimen se debe verificar que la placa con asiento esférico esté en condiciones de moverse libremente.

#### ❖ Área de aplicación de la carga

Al calcular la resistencia a compresión, generalmente puede considerarse el área de la sección transversal del espécimen como de 25 cm<sup>2</sup>, sin embargo, en los casos en que el área del espécimen varíe en más de 0.3 cm<sup>2</sup> con relación al área de 25 cm<sup>2</sup> se debe usar el área real.

La resistencia a la compresión de todos los especímenes aceptables, hechos de la misma muestra y probados a la misma edad, se obtiene promediando los resultados e informando con una aproximación al kilogramo por centímetro cuadrado.

#### ❖ Carga máxima

Se registra la carga máxima indicada por la máquina y se calcula la resistencia a la compresión, en Pa (o en kgf/cm<sup>2</sup>), dividiendo dicha carga entre el área de la sección transversal del espécimen.

$$R = \frac{P_{m\acute{a}x}}{S}$$

---

Dónde:

“ $P_{m\acute{a}x}$ ” es la carga máxima

“R” es la resistencia a la compresión

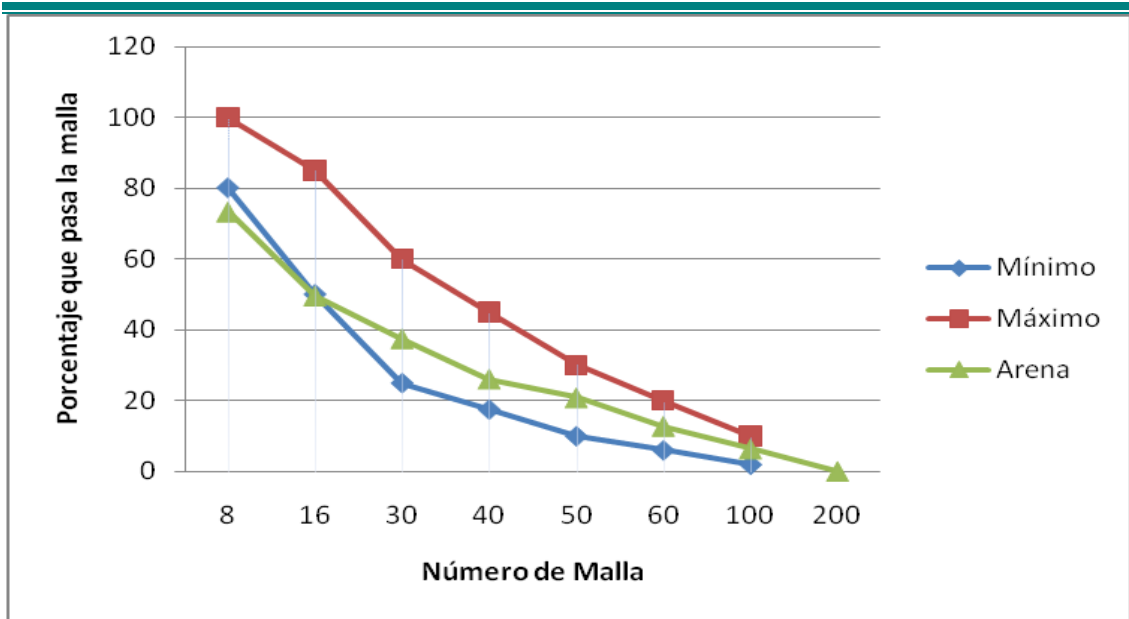
“S” es el área de la sección transversal del espécimen.

### *Precisión*

La carga que se aplique al espécimen debe registrarse con una exactitud de 1%.

CURVA GRANULOMÉTRICA DE LA ARENA							
DATOS		Peso (gr)			Peso (kg)		
Charola		664.4			0.664		
Charola + suelo		1300			1.3		
Charola + suelo seco		1230			1.23		
Suelo seco		565			0.565		
Charola A		879.9			0.879		
Malla	Peso malla	Ret + Malla	Retenido	% Retenido	%Acumulado	% Pasa	Pasa
8	0	0	0	0	0	0	0
16	816.8	967	150.2	26.56	26.56	73.44	415.4
30	811	945.5	134.5	23.78	50.34	49.66	280.9
40	1018.7	1087.2	68.5	12.11	62.45	37.55	212.4
50	769.5	834	64.5	11.40	73.85	26.15	147.9
60	779.6	809.7	30.1	5.32	79.17	20.83	117.8
100	962.8	1008.4	45.6	8.06	87.23	12.77	72.2
200	707.6	743.8	36.2	6.40	93.63	6.37	36
Finos	879.9	915.9	36	6.36	99.99	0.0	0
TOTAL			565.6	100	99.99		

**Tabla 3. Granulometría de la Arena**



**Gráfica 1. Curva Granulométrica de la Arena (norma ASTM C 125)**



**Figura 26. Tapa y charola base de tamices sin residuos de suelos. (Mallas con ancho de entramado; 16, 30, 40, 50, 60, 100, 200 de mayor a menor respectivamente).**





**Figura 27. Máquina de ensaye con columna de tamices.**



**Figura 28. Desensamble de tamices después de la vibración y movimientos rotatorios de la máquina de ensaye..**



**Figura 29. Peso del material retenido por tamiz.**

Equivalente de arena

Esta práctica se hace para obtener la cantidad de finos principalmente arcillas contenidas en la arena siendo que al contacto con el agua tienden a cambiar su volumen.

LECTURAS	
FINOS	ARENA
3.9	3.8
2.9	2.9

**Tabla 4. Equivalente de arenas.**

$$\text{Equivalente de arena} = \frac{\text{Arena}}{\text{Finos}} = \frac{2.9}{3.8} * 100 = 76.3157\%$$



**Figura 30. Arena cribada por la malla #4.**



**Figura 31. Probeta con 10 cm de solución de trabajo (Cloruro de calcio cristalino,  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , o cloruro de calcio anhidro,  $\text{CaCl}_2$  // Glicerina// Solución de formaldehído// Agua destilada o desmineralizada).**

---

Se vacía 100g de arena tamizada en la probeta con la solución previamente vertida a una altura de 10cm, para que se impregne el suelo se deja en reposo 10 minutos.



**Figura 32.** Pasando el tiempo de impregnación se agita de forma horizontal durante 45 seg.



**Figura 33.** Se agrega más solución.

La solución de trabajo llega a la marca final de 38 cm, proceso que se hace con una varilla por la que fluye la solución para que tiendan a subir las partículas finas y no queden atrapadas debajo de la arena, al subir el tubo regador se van enjugando las paredes de la probeta bajando nuevamente el tubo para ocasionar una turbulencia cuando se llega a la marca final se cierra la manguera del irrigador y la solución se deja en reposo 20 min.



**Figura 34. Solución en reposo.**

Se toma la lectura de a la cual se encuentran los finos (lectura de arcilla), con la ayuda del pisón se toma la lectura de la arena.

Prueba equivalente de arenas.

De la mezcla realizada como lo establece la norma NMX –C- 061 –ONNCCE – 2001

MATERIAL		
	Cantidad	Unidades
Flanera No. 5	119.1	gr
Arena	1375	gr
Cemento	500	gr
Agua	242	ml

**Tabla 5. Cantidad de material (Especificado NMX-C-414-ONNCCE).**

Importante .No se deben hacer ajustes a los controles de la máquina cuando un espécimen ceda con rapidez antes de la ruptura.

---

Para continuar con la segunda parte de la tesis en cuánto a la propuesta de mejora en los especímenes se acondiciona un recipiente con suficiente agua preparada para cubrir en su totalidad los cubos, siendo una solución salina con proporción al 10% de sal diluida en agua, durante un periodo de 30 días, comenzando los primeros ensayos a 37 días esperando obtener los resultados más favorables al someterlos a la máquina universal.

## IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### *IV.1 Caracterización del Mortero Base*

Para generar las probetas los moldes cúbicos deben estar fijos de manera segura a su base, una vez colocados se cubren las caras interiores con una película delgada de aceite mineral, al colocar la mezcla compuesta por cemento arena proporción 1:3 respectivamente siendo esto 2700 gr de arena y 900 gr de cemento con 480 ml de agua necesaria para dar la fluidez correspondiente a esta proporción, de manera gradual la compactación comenzando con un espesor de 25 mm aproximadamente dando 8 golpes en 4 capas de manera que el llenado sea uniforme, una vez lleno el molde se enrasa la superficie, usando una cuchara ligeramente inclinada, por una sola vez eliminando el exceso, de manera consecutiva los moldes se colocan dentro del gabinete húmedo protegidos del goteo directo, los especímenes deberán permanecer dentro del molde un día, una vez cumplido el tiempo se extraen de los mismos y se sumergen en agua limpia.



**Figura 35. Moldes fijos con capa de aceite mineral (NMX-C-062-1997-ONNCCE).**

---

## ***IV.2 Determinación del Mortero con Resina***

Para esta mezcla será entendida con la misma relación que la antes mencionada a excepción de la proporción comprendida para la fluidez ya que en esta se considera una proporción de agua resina 2:1 para revisar contra la anterior el comportamiento y la resistencia adquirida durante el ensaye de los especímenes. Arena 1723.5 gr, Agua 512ml, Cemento 574.5gr, Resina 256gr.



**Figura 36.**Preparación de la arena.



**Figura 37.** Disolución del agua resina hasta homogenizar.



**Figura 38.** Una vez preparada la arena se vacía la resina en el centro del material.



**Figura 39.** Mezcla de los materiales hasta llegar a la consistencia adecuada en base a la fluidez (Norma NMX-C-144-ONNCCE-2002).





**Figura 40.** Se coloca en los compartimentos del molde de los especímenes.

Comenzar por introducir una capa de mortero menor de 25 mm de espesor aproximadamente y luego el mortero de cada compartimento se compacta con el pisón, 32 veces en 10s, en 4 vueltas. (NMX-C-061-ONNCCE-2001).



**Figura 41.** Con una regleta se quita el excedente de cada molde.

---

### ***IV.3 Análisis del Mortero Sometido a Impregnaciones***

Una vez creadas las pastas con las características de las dos mezclas anteriores se dejan en el cuarto húmedo hasta cumplir con el día de prueba 3, 7 14 y 28 días, solo q ahora en lugar de someterlas al ensaye se cambian a un recipiente con Cloruro de Sodio al 10% durante 30 días para verificar el impacto que tiene en la resistencia con cada una de estas mezclas, cumplido el tiempo los especímenes son llevados a la máquina para someterse a prueba.

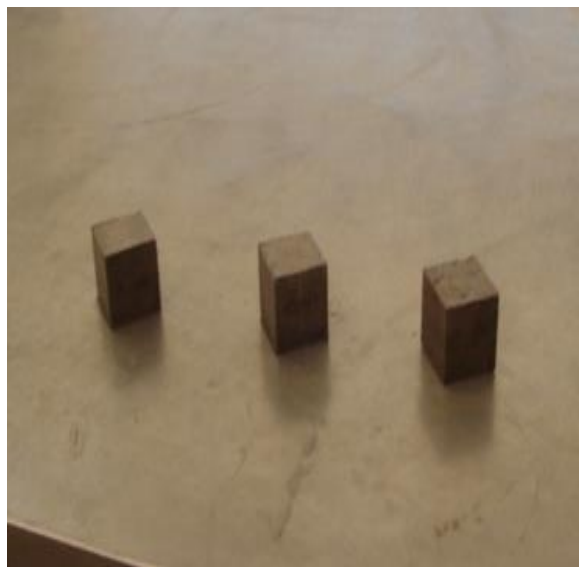


**Figura 42. Moldes con mezcla.**



---

### 43. Liberación de especímenes.



**Figura 44.**Separación según su material en mezcla (Mortero Base o Mortero Resina)



**Figura 45.**Especímenes de Mortero Base o Mortero Resina.



**Figura 46. Probetas sometidas a impregnaciones con Cloruro de Sodio en Tanque de almacenamiento (NMX-C-148-ONNCCE-2002).**

“Gabinetes y cuartos húmedos y tanques de almacenamiento para el curado de especímenes de Mortero y Concreto de cementantes hidráulicos”.



**Figura 47. Probetas en cuarto húmedo.**



**Figura 48. Cuarto húmedo dentro de las instalaciones del laboratorio**



**Figura 49. Puerta de cuarto húmedo programada para hidratar solo cuando está cerrada.**



**Figura 50. Interior de cuarto húmedo con especímenes en hidratación y tanque de almacenamiento (lo que en obra se le llama curado)**

---

#### ***IV.4 Ruptura de los Especímenes***

Al cumplir la edad de prueba, se retiran de la cámara probándolos dentro de la tolerancia en tiempo que se presenta en el cuadro 2 en base a los días en base a la Norma NMX-C061-ONNCCE-2001, una vez extraídos se limpian eliminando granos sueltos y secando superficialmente manteniéndolos cubiertos por un trapo húmedo, antes de la prueba se revisa si las caras son efectivamente planas mediante el uso de una regla.

La carga debe ser aplicada sobre las caras que estuvieron en contacto con las paredes verticales de los moldes, el espécimen se coloca al centro de la placa de la máquina sin utilizar el cabeceo.



**Figura 51.** Se mantienen los especímenes cubiertos con un trapo húmedo antes del ensayo.



**Figura 52. Toma de dimensiones por cara del cubo.**



**Figura 53. Colocación del espécimen al centro de la máquina.**





**Figura 54. Ensayo del espécimen aplicando la carga de manera gradual hasta llegar a la ruptura.**



**Figura 55. Los ensayos nos arrojan un patrón de falla (semejándose a un reloj de arena).**



**Figura 56.** Se toman las dimensiones del espécimen una vez terminado el ensaye.

**IV.5 Resultados a la Compresión en Morteros Proporción 1:3  
(Ensaye de 3 especímenes por día).**

PRUEBA A COMPRESIÓN DE MORTEROS						
Prueba base proporción 1:3						
Probetas	1		2		3	
Días	kg	kg/cm2	kg	kg/cm2	kg	kg/cm2
3	3200	128	3550	142	4150	166
7	4200	168	3550	142	4150	166
14	5300	212	5400	216	5100	204
28	5350	214	5750	230	5750	230

Tabla 6. Prueba a compresión de Morteros Prueba Base.

**IV.6 Resistencia a la Compresión en Morteros con Resina.**

PRUEBA A COMPRESIÓN DE MORTEROS						
Prueba con Resina 1:2 Agua						
Probetas	1		2		3	
Días	kg	kg/cm2	kg	kg/cm2	kg	kg/cm2
3	1950	78	1700	68	1900	76
7	2150	86	2200	88	2100	84
14	2600	104	2900	116	2750	110
28	3400	136	3250	130	3400	136

Tabla 7. Prueba a compresión de Morteros Prueba Base.

#### ***IV.7 Ensaye Después de la Impregnación Morteros Base.***

PRUEBA A COMPRESIÓN DE MORTEROS						
IMPREGNACIONES (durante 30 días)						
Prueba base proporción 1:3						
Probetas	1		2		3	
Días	kg	kg/cm2	kg	kg/cm2	kg	kg/cm2
3	5000	200	5750	230	4550	182
7	3200	128	3300	132	3300	132
14	3900	156	4050	162	3800	152
28	4500	180	5020	200.8	4100	164

Tabla 8. Prueba a compresión de Morteros Prueba Base después de ser sometidos a Impregnación.

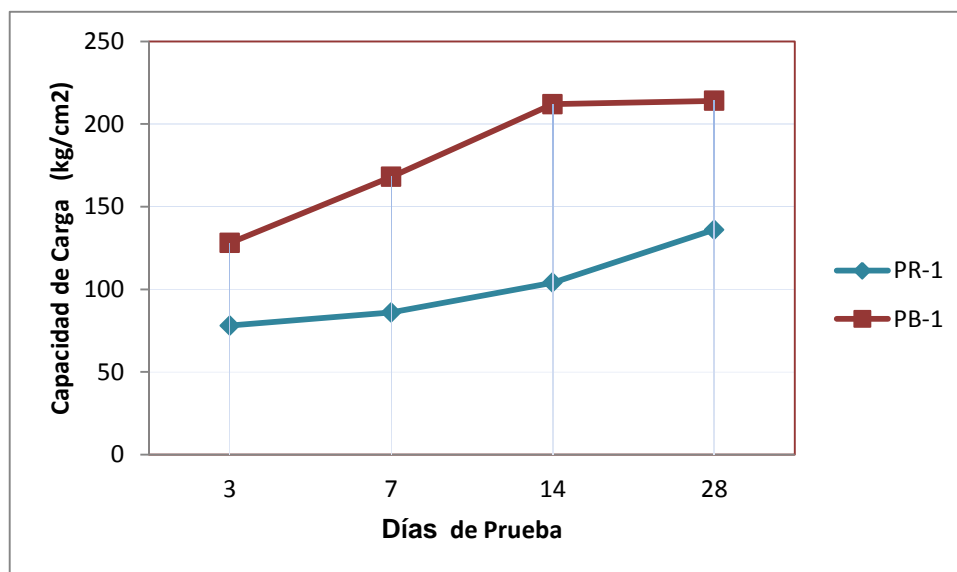
#### ***IV.8 Datos de Ensaye Después de la Impregnación de Morteros con Resina.***

PRUEBA A COMPRESIÓN DE MORTEROS						
IMPREGNACIONES (durante 30 días)						
Prueba con Resina 1:2 Agua						
Probetas	1		2		3	
Días	kg	kg/cm2	kg	kg/cm2	kg	kg/cm2
3	3200	128	3200	128	3300	132
7	5450	218	5450	218	5380	215.2
14	4375	175	4500	180	4650	186
28	3600	144	3200	128	3600	144

Tabla 9. Prueba a compresión de Morteros con Resina después de ser sometidos a Impregnación.

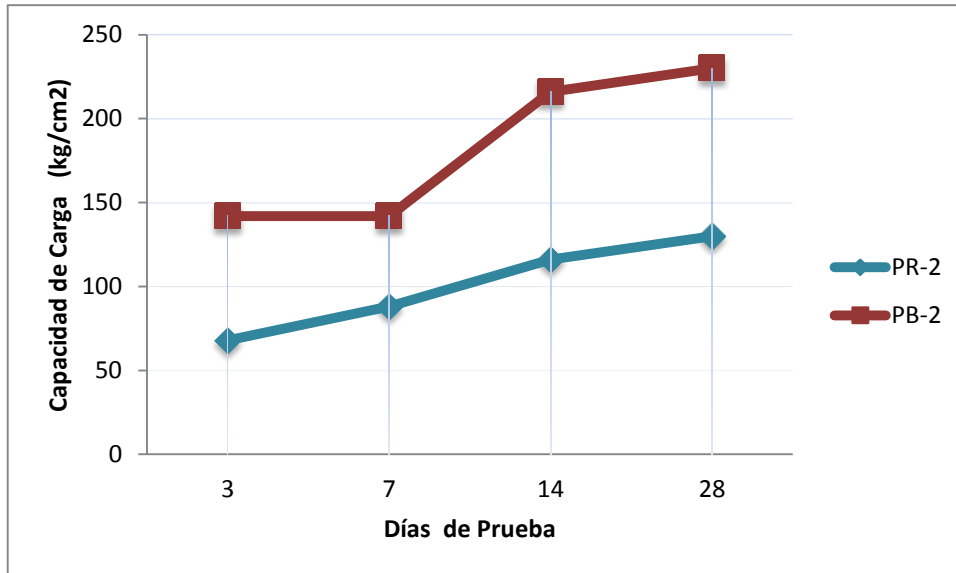
---

#### ***IV.9 Gráficas Resistencia a la compresión. Ensayes de Mortero Base y Mortero con Resina.***



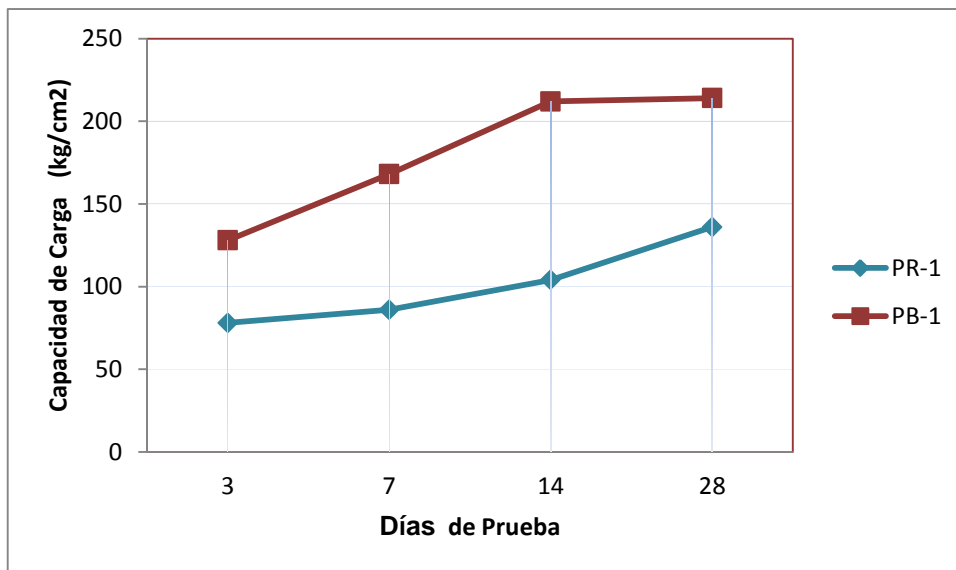
**Gráfica 2. Mortero Base y Mortero Resina (Ensaye 1).**

En el conjunto de muestras alojadas en el cuarto húmedo con las características del mortero base y mortero con resina ensayado a los 3, 7, 14 y 28 días es muy evidente la diferencia a la capacidad de carga desde el principio con una diferencia de 50 kg/cm<sup>2</sup> como mínimo y un máximo de 100 kg/cm<sup>2</sup> al día 28 siendo la de mayor capacidad la de Mortero Base.



**Gráfica 3 Mortero Base y Mortero Resina (Ensayo 2).**

Podemos observar que para los diferentes ensayos en las primeras dos edades (3 y 7 días) las probetas del mortero base se mantienen con la capacidad de carga constante incrementando después de esta última al doble de lo que logra aumentar las de mortero con resina, aún y que se mantuvo constante durante su prueba.

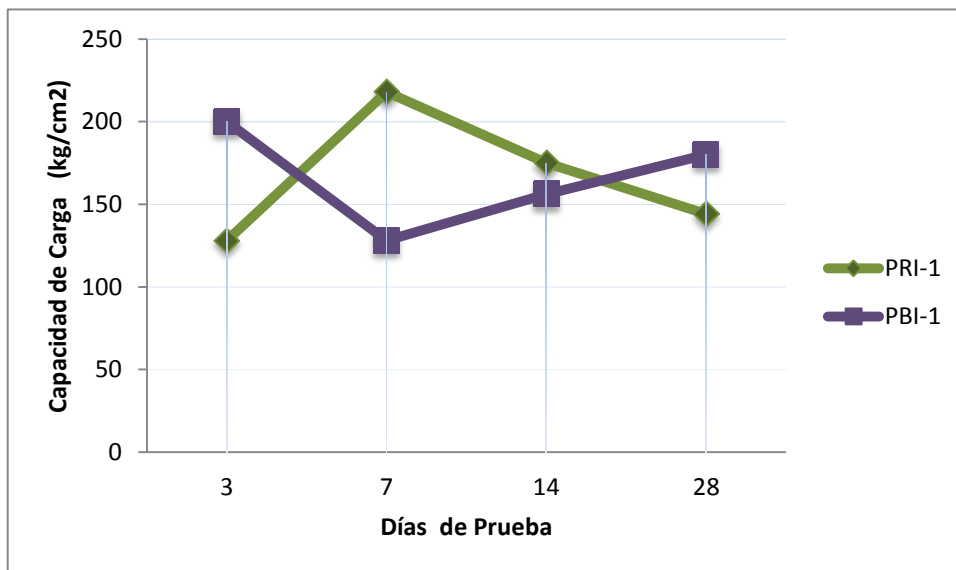


**Gráfica 4. Mortero Base y Mortero Resina (Ensayo 3).**

---

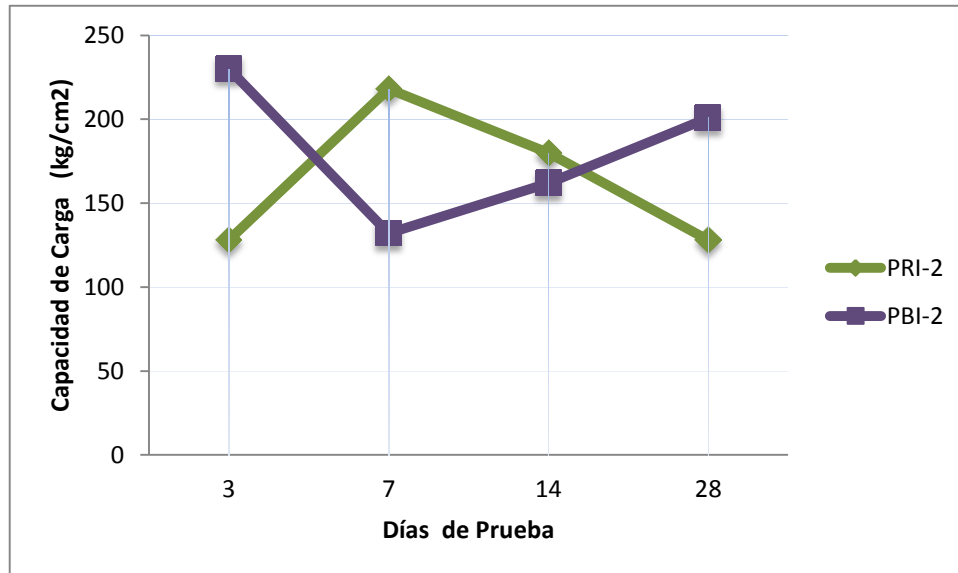
En el tercero y último de los primeros estudios el Mortero Base inicia con una capacidad de 166 kg/cm<sup>2</sup>, llegando a un máximo de 230 kg/cm<sup>2</sup> mientras que el comportamiento de las probetas de Mortero con Resina tiende a incrementar en todo momento se mantiene 100 kg/cm<sup>2</sup> debajo de la capacidad de carga de los especímenes de Mortero Base.

***IV.10 Gráficas Resistencia a la compresión. Ensayes de Mortero Base y Mortero con Resina sometidas a impregnaciones de Cloruro de Sodio (NaCl).***



**Gráfica 5. Mortero Base y Mortero Resina ambas sometidas a impregnaciones de NaCl (Ensaye 1).**

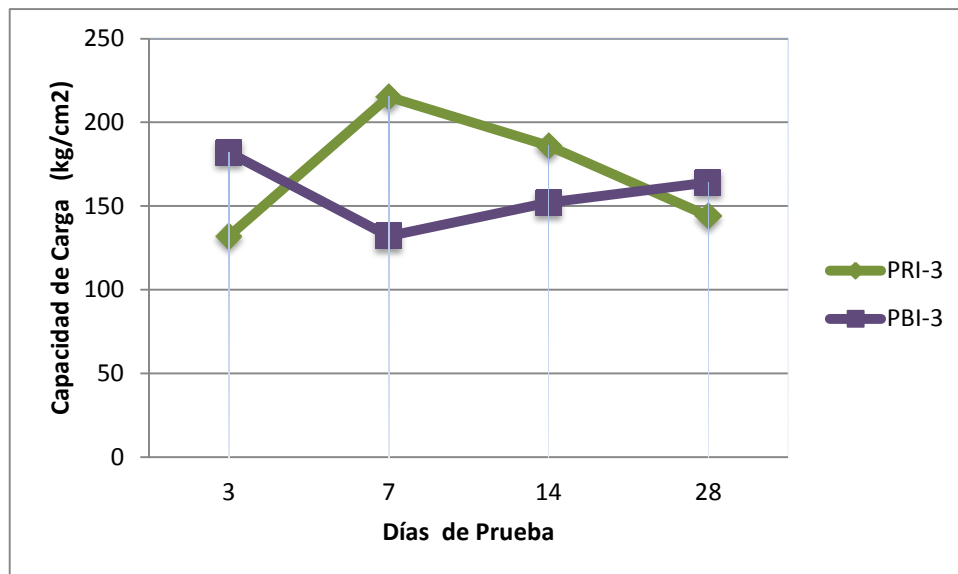
La impregnación de los especímenes con cloruro de Sodio durante 30 días nos arroja un comportamiento diferente al ensayarlos, comparados con los espécimenes que se encontraban en el cuarto húmedo bajo el rocío del agua .



**Gráfica 6. Mortero Base y Mortero Resina ambas sometidas a impregnaciones de NaCl (Ensayo 2).**

La capacidad de carga en el Mortero con Resina aumenta hasta llegar al séptimo día con una diferencia de 86 kg/cm<sup>2</sup> respecto a la probeta de Mortero Base a la misma edad, mientras que esta última al principio (3 días) tiene un incremento de 102kg/cm<sup>2</sup> y al final (28 días) 72.8 kg/cm<sup>2</sup> respecto a las ensayadas de Mortero con Resina.



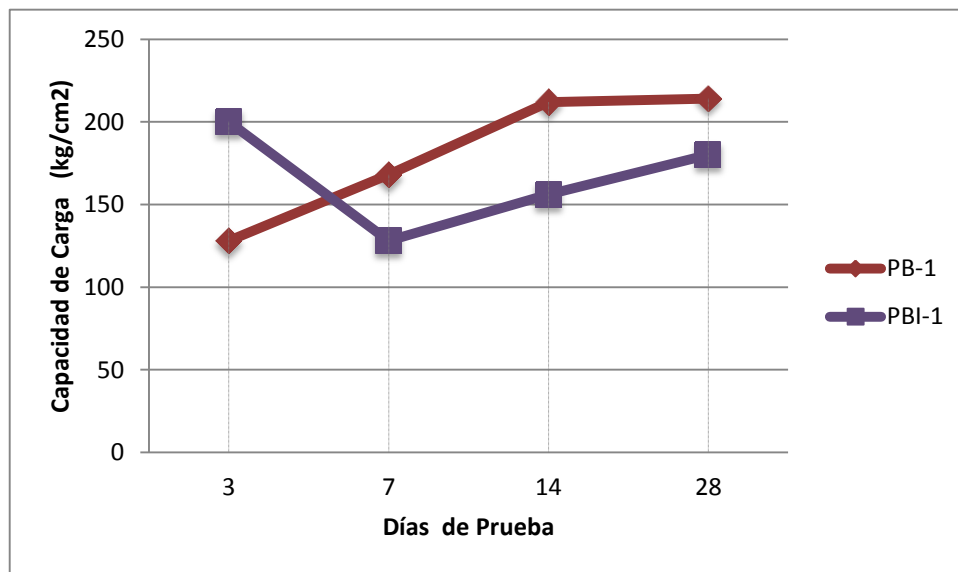


**Gráfica 7. Mortero Base y Mortero Resina ambas sometidas a impregnaciones de NaCl (Ensayo 3).**

El comportamiento es muy parecido a los dos anteriores solo que en este la diferencia mayor es de 83.2 kg/cm<sup>2</sup> del Mortero con Resina sobre el Mortero Base en el séptimo día, es importante hacer mención que en las pruebas para esta gráfica el Mortero Base no alcanza el valor mayor del Mortero con Resina.

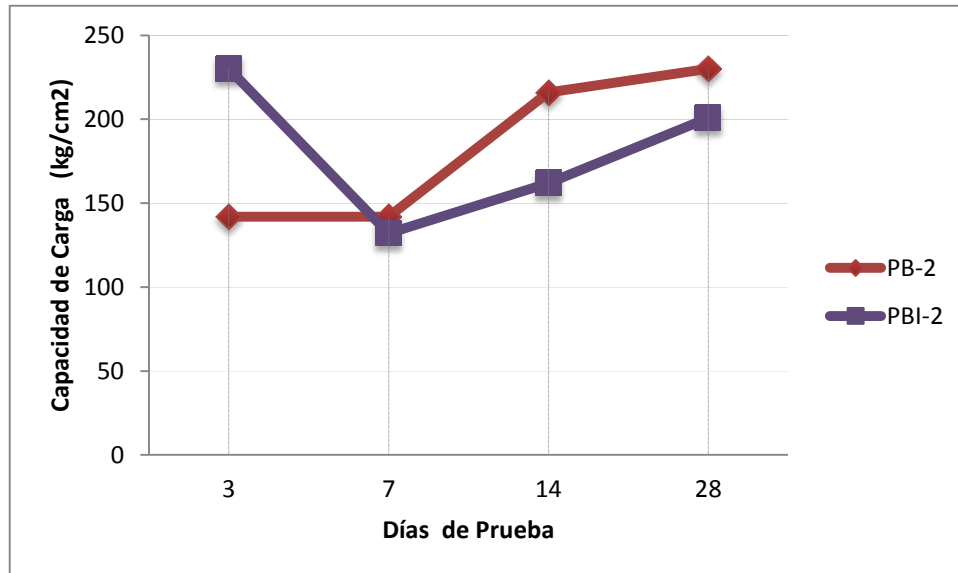
---

**IV.11 Gráficas Resistencia a la compresión. Comparativa Prueba de Mortero Base y Mortero Base sometida a impregnaciones de Cloruro de Sodio (NaCl).**



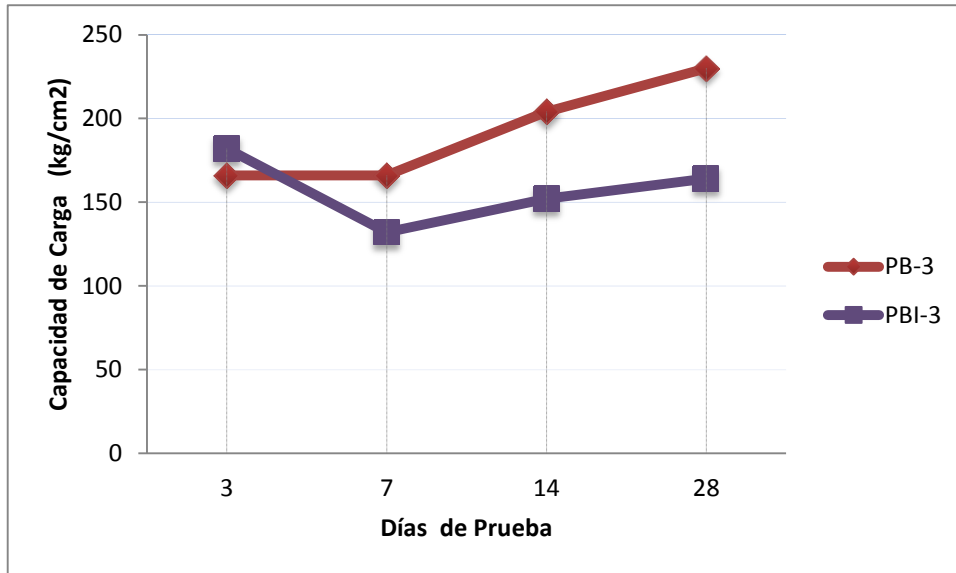
**Gráfica 8. Mortero Base y Mortero Base sometida a NaCl (Ensayo 1).**

Al observar las dos pruebas de manera general alcanzan la misma capacidad de carga en diferente día de ensaye con un comportamiento similar del séptimo y catorceavo día quedando debajo el Mortero sometido a impregnaciones de cloruro de sodio por 34 kg/cm<sup>2</sup>.



**Gráfica 9. Mortero Base y Mortero Base sometida a NaCl (Ensayo 2).**

La capacidad de carga en el séptimo día para los Morteros Base en las dos condiciones se mantienen sobre 100 kg/cm<sup>2</sup> mientras que el máximo para ambos fue de 200 kg/cm<sup>2</sup>. En el Mortero Base la lectura de carga máxima es en el último ensayo a 28 días, mientras que para el Mortero sometido a Impregnaciones de Cloruro de sodio se obtiene en el primero, esto nos indica que cuando un Mortero experimenta el ataque de esta sustancia durante 30 días la estructura interna de nuestra probeta se ve afectada al recibir de manera constante el ataque del compuesto químico.

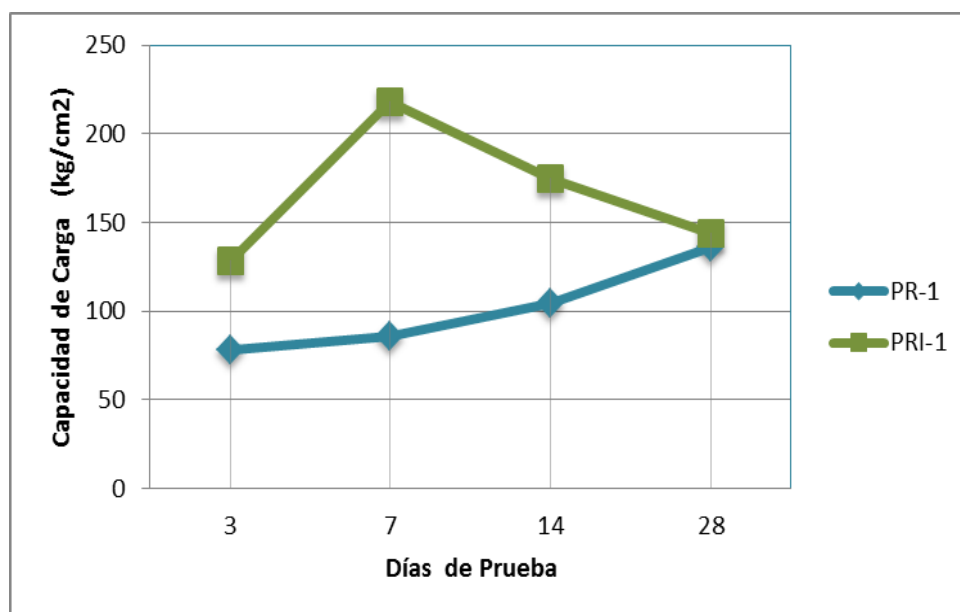


**Gráfica 10. Mortero Base y Mortero Base sometida a NaCl (Ensaye 3).**

En la lectura arrojada del Mortero Base es mayor al alcanzar los 28 días y la del espécimen sometido a la solución salina notamos que la capacidad de carga mayor está al inicio bajando a la edad de 28 días 66 kg/cm<sup>2</sup> respecto a la ensayada de Mortero Base.

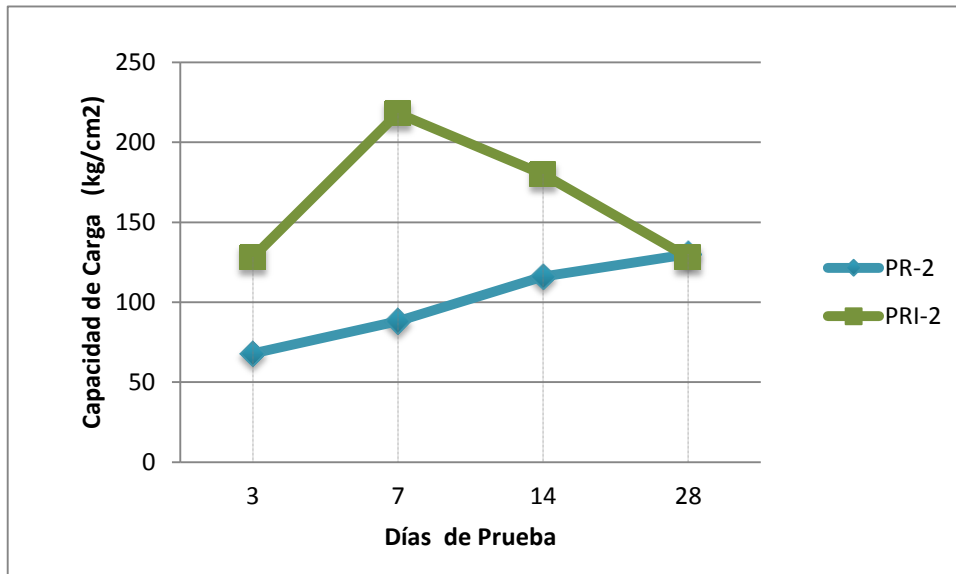
---

**IV.12 Gráficas Resistencia a la compresión. Comparativa Prueba de Mortero con Resina y Mortero con Resina sometida a impregnaciones de Cloruro de Sodio (NaCl).**



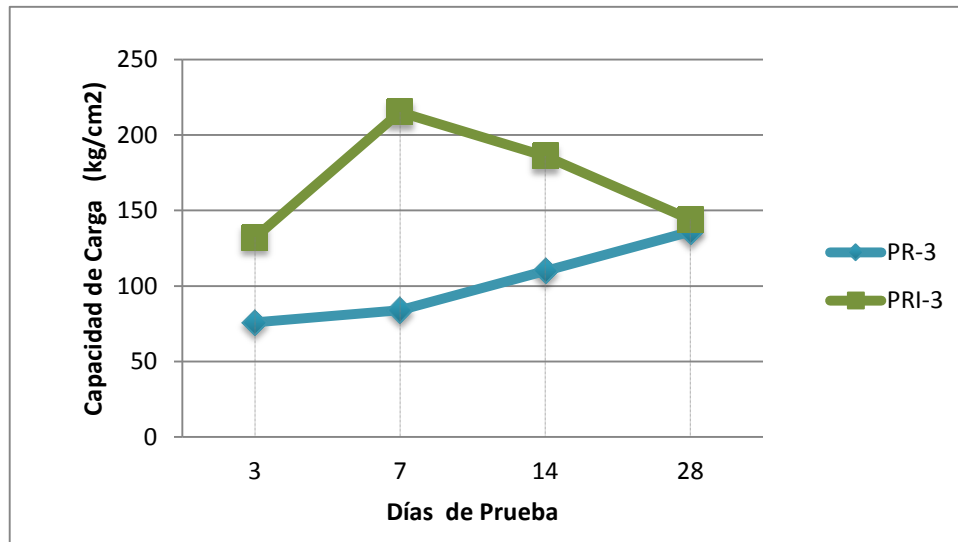
**Gráfica 11. Mortero con Resina y Mortero con Resina sometidas en NaCl (Ensayo 1).**

Para la muestra de Mortero con Resina las lecturas llevan un incremento de forma constante hasta los 28 días (edad máxima de ensaye) la mayor capacidad de carga alcanzada, es la mínima en las arrojadas por las probetas de Mortero con Resina expuestas al ataque de Cloruro de Sodio alcanzando una diferencia de 132 kg/cm<sup>2</sup> en la segunda roptura.



**Gráfica 12. Mortero con Resina y Mortero con Resina sometidas en NaCl (Ensayo 2).**

Las impregnaciones de cloruro de Sodio en este gráfico arrojan una capacidad de carga doble a la mayor alcanzada por la pasta de Mortero con Resina a los 28 días, siendo en el séptimo día la diferencia de 130 kg/cm<sup>2</sup>.



**Gráfica 13. Mortero con Resina y Mortero con Resina sometidas en NaCl (Ensayo 3).**

La tendencia en los resultados es muy parecida a la anterior en cuanto a la capacidad de carga (arrojando un patrón similar para las tres probetas en el séptimo día), suponiendo que la resina dentro del espécimen actúa de manera favorable al reaccionar con el cloruro de sodio en los primeros días de ensaye podríamos utilizarlo para un estudio donde requiera la resistencia que alcanza de 200 kg/cm<sup>2</sup>.

---

---

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### V.1 CONCLUSIONES

La comparación arrojada por las probetas Base y de Resina bajo las proporciones mencionadas en el capítulo IV.1 nos dice que la resistencia a la compresión obtenida es incrementada al paso del tiempo por ambas mezclas aunque se hace notar la gran diferencia entre los resultados, manteniéndose la mezcla base sobre la que contiene resina.

Al someter los especímenes en Cloruro de Sodio durante 30 días tienen un comportamiento totalmente diferente durante los ensayos siendo que la resina aumenta al 7° día y la Prueba Base disminuye, después de esta prueba regresan a la capacidad de carga obtenida al principio finalizando el ensayo a 58 días.

Respecto a la prueba Base antes y después de ser sometida a los ataques de Cloruro de Sodio la primera tiene un aumento periódico hasta el último día de fraguado mientras que la de Resina se ve afectada a los siete días volviendo a adquirir su resistencia después y al final de la prueba obteniendo la lectura de ligeramente debajo de la tomada al inicio.

La Prueba de Resina aumenta su resistencia periódicamente hasta el final de los ensayos mientras que la sometida a impregnaciones obtiene una mayor resistencia aproximada al doble hasta llegar al séptimo día de ahí comienza a descender hasta alcanzar la inicial siendo mayor que la Prueba de Resina en su máxima lectura.

De los resultados obtenidos el mortero utilizado en los ensayos de la mezcla Base y Resina se considerarían dentro de concretos ya que triplica la resistencia mínima de estos, siendo de  $50 \text{ kg/cm}^2$  y en cuanto a la durabilidad se ve afectada una vez sometidos a Cloruro de Sodio ya que de manera superficial comienzan a desprenderse pequeñas partículas afectadas por la sal en general la resistencia alcanzada después de los 30 días respectivamente se ve perjudicada siendo q no hay diferencia considerable entre el primer y último ensayo .



---

## ***V.2 RECOMENDACIONES***

El utilizar resina dentro de las mezclas para alcanzar una mayor resistencia es la mejor opción considerando la proporción utilizada agregando un poco más de esta para contrarrestar la viscosidad de la resina y así poder alcanzar la misma manejabilidad de la fluidez requerida por las normas NMX-C-144.

En la cuestión práctica el equipo debe mantenerse limpio siendo que esto puede perjudicar las probetas y contaminar del mismo modo el material dando lugar a resultados un tanto disparados al permitir que la materia orgánica actúe, como el aceite mineral que al utilizarlo debe ser sin reciclar, el golpeteo por capa es muy importante que se realice para evitar que queden burbujas de aire debilitando la sección de la probeta.

Para su utilización en campo se debe considerar en gran medida la utilización de agua tratada ya que después del proceso al que se somete sigue estando contaminada, dando lugar a reacciones posiblemente no detectables a simple vista dentro de la mezcla, al aplicarla en el elemento considerándolo dentro o fuera de la construcción no es posible que alcance la vida útil para la cual está diseñado.

---

## VI. LITERATURA CITADA

F.Puertas, R. de Gutierrez, A. Fernández-Jimenez, S. del Vasto, J. Maldonado, 2002. "Morteros de cementos alcalinos. Resistencia química al ataque por sulfatos y el agua de mar". España.

J. L. Alvarez Cabrera, F. Urrutia, D. Lecusay, A. Fernández. 1997 "Morteros de Albañilería con asombros de demolición". España.

J.M. Ortega, Sánchez, I & Clement, M.A. "Materiales de construcción Influencia de diferentes condiciones de curado en la estructura porosa y en las propiedades a edades tempranas de morteros que contienen ceniza volante y escoria de alto horno".

J.Marco, E. García, V. Alcaraz, A. Luizaga, 2012. "Estudio de la resistencia a compresión de morteros fabricados con conglomerante compuesto de polvo de vidrio". Universida Politécnica de Madrid, (España).

Kumar Mehta y Paulo Monteiro.1998. "Concreto Estructura propiedades y materiales". 1° ed. IMCyC México.

Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C.;"NMX-C-2004".

Neville M., Adam. 1999. Tecnología del concreto. IMCyC, México.

Normas ASTM Muestreo del Concreto, Revenimiento, Contenido de aire Peso Unitario. IMCyC, México.

Norma Oficial Mexicana NMX-C-021-ONNCCE-2004 "Cemento para albañilería (mortero)"- Especificaciones y métodos de prueba.

Norma Oficial Mexicana NMX-C-057-ONNCCE-1997 "Cementantes hidráulicos"- Determinación de la consistencia normal.

Norma Oficial Mexicana NMX-C-061-ONNCCE-2001 "Cemento"- Determinación de la resistencia a la compresión de cementantes hidráulicos.

---

---

Norma Oficial Mexicana NMX-C-085-ONNCCE-2002 “Cementos hidráulicos”-  
Método estándar para el mezclado de pastas y morteros de cementantes hidráulicos.

Norma Oficial Mexicana NMX-C-144-ONNCCE-2002 “Cementantes hidráulicos”-Requisitos para el aparato usado en la determinación de la fluidez de morteros con cementantes hidráulicos.

Norma Oficial Mexicana NMX-C-148-ONNCCE-2002 “Cementantes hidráulicos”- Gabinetes y cuartos húmedos y tanques de almacenamiento para el curado de especímenes de mortero y concreto de cementantes hidráulicos.

Norma Oficial Mexicana NMX-C-329-ONNCCE-2002 “Cementos hidráulicos”-  
Determinación de la granulometría de la arena sílice utilizada en la preparación de los morteros de cementantes hidráulicos.

Norma Oficial Mexicana NMX-C-414-ONNCCE-2004 “Cementos hidráulicos”-  
Especificaciones y métodos de prueba.

P. Kumar Mehta & Paulo J. M. Monteiro, “Concrete microstructure, properties, and materials”, second edition, 1993, editorial The Mc Graw-Hill Companies.

S.A. Bernal, R. Mejía de Gutierrez, F. Ruiz, H. Quiñones, J.L. Provis, 2012. “Diseño a temperaturas altas de morteros y hormigones basados en mezclas de escoria/metacaolín activadas alcalinamente”.Universidad del Valle, Cali (Colombia), University of Melbourne, Victoria (Australia).

T. Serrano, M. V. Borrachero, J. M. Monzó, Yordi Payá, 2012. “Morteros Aligerados con cascarilla de arroz: Diseño de Mezclas y evaluación de propiedades”. Medellín.

V. Ferrandiz, E. García Alcocer, 2012. “Caracterización física y mecánica de morteros de cemento Portland fabricados con adición de partículas de poliestireno expandido (EPS). Universidad de Alicante (Alicante, España).

[www.arqhys.com/historia-concreto.html](http://www.arqhys.com/historia-concreto.html)

<http://www.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/Pag 1.htm>