

Universidad Autónoma de Querétaro
FACULTAD DE INGENIERIA

**PROPIEDADES MECANICAS RESIDUALES DE
MORTEROS DE CAL DEGRADADOS CON CLOCURO
DE SODIO**

TESIS

Que para obtener el Título de:

INGENIERO CIVIL

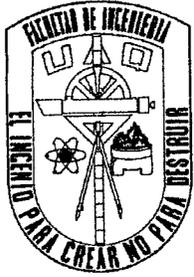
Presenta:

LUIS ORTIZ ARROYO

Director de Tesis:

Dr. Juan Bosco Hernández Zaragoza

Santiago de Querétaro, Querétaro, 2009



Universidad Autónoma de Querétaro
FACULTAD DE INGENIERIA

**PROPIEDADES MECANICAS RESIDUALES DE
MORTEROS DE CAL DEGRADADOS CON CLORURO
DE SODIO**

TESIS

Que para obtener el Título de:

INGENIERO CIVIL

Presenta:

LUIS ORTIZ ARROYO

Director de tesis:

Dr. Juan Bosco Hernández Zaragoza

Santiago de Querétaro, Querétaro, 2009

No. Adq. 473674

No. Título _____

Clas. TS

620:1350287

077p

354221

3-74

100

- 3

- 01

1

0

1

1

00016-8

1

Universidad Autónoma de Querétaro

FACULTAD DE INGENIERIA

PROPIEDADES MECANICAS RESIDUALES DE
MORTEROS DE CAL DEGRADADOS CON CLORURO
DE SODIO

TESIS

Que para obtener el Título de:

INGENIERO CIVIL

Presenta:

LUIS ORTIZ ARROYO

Director de tesis:

Dr. Juan Bosco Hernández Zaragoza

Santiago de Querétaro, Querétaro, 2009

Resumen

Se utilizaron cuatro diferentes marcas de cal hidratada, las cuales son las más comunes en el estado de Querétaro, las cuales son: "Cal del Valle, Cal Santa Cruz, Cal Los Arcos y Cal Export".

Con las cales anteriores se elaboraron morteros tipo III según el Reglamento de Construcción del Distrito Federal.

Primero se determinó la proporción de la mezcla base tomando en cuenta su trabajabilidad para cada marca de cal, elaborando 3 especímenes por edad (3, 7, 14 y 28 días).

El tratamiento al que se sometieron los especímenes en la prueba rápida de degradación consistió en sumergirlos en agua y cloruro de sodio al 10% para posteriormente someterlos a las pruebas de compresión. Otros especímenes que tuvieron el mismo tratamiento se impregnaron con un aditivo protector para conocer su participación como agente defensor de los morteros ante la agresión de las sales, observando una gran mejoría en los especímenes tratados con dicho aditivo.

Palabras Clave: Cal, Cloruro de Sodio, Durabilidad.

Dedicatoria

A Dios; Por haberme dado la vida, por guiarme a lo largo de ella y mantener la fe presente además de su ayuda a ser un buen cristiano.

A mi padre Don. Humberto Ortiz Rodríguez; Por todo su apoyo moral y económico a lo largo de mi vida, por su amistad y amor que me ha brindado siempre.

A mi madre Ma. Guadalupe Arroyo de Ortiz; Por el afecto y cariño que siempre me brinda, por su amor de madre y por los consejos que siempre me da.

A mis amigos; Por su apoyo en todos los sentidos a lo largo de tantos años que hemos compartido juntos.

A mis hermanos; Arq. Jesús Humberto Ortiz Arroyo y José Daniel.

Al Dr. Juan Bosco Hernández Zaragoza;

Por su apoyo y guía en el desarrollo de este trabajo.

A todos mis maestros;

Por todos los consejos y brindarme las herramientas en mi vida profesional.

Índice general	Págs.
Resumen	I
Dedicatoria	II
Índice General	III
Índice de Figuras	V
Índice de Tablas	V
Índice de Gráficas	VI
Introducción	VII
Justificación	IX
Objetivo	X
1. La cal	1
1.1 Definición	1
1.2 Antecedentes	1
1.3 Tipos de cal	2
1.3.1 Cal viva	2
1.3.2 Cal Hidratada	2
1.3.3 Cal Hidráulica	2
1.4 Procesos de obtención de la cal	3
1.4.1 Extracción	3
1.4.2 Trituración	3
1.4.3 Calcinación	3
1.4.4 Enfriamiento	3
1.4.5 Inspección	3
1.4.6 Cribado	4
1.4.7 Trituración y Pulverización	4
1.4.8 Hidratación	4
1.4.9 Envase y embarque	4
1.5 Principales beneficios de la cal en los morteros	4
1.6 Marcas Utilizadas en el Proyecto	5
2. Cemento portland	6
2.1 Generalidades	6
2.2 Cemento Portland	6
2.3 Fabricación	6
2.3.1 Mezcla y molienda de las materias primas	7
2.3.2 Cocción de la pasta cruda	7
2.3.3 Transformación del clinker en cemento portland	7
3. Morteros	9

	Págs.
3.1 Generalidades.	9
4. Durabilidad	11
4.1 Definición	11
4.2 Deterioro de polímeros y cerámicos	11
4.3 Agua como agente de deteriorización	12
4.4 Fracturas por cristalización de sales en los poros	12
4.5 Deterioro por acciones químicas	12
4.6 Ataque por sulfatos	13
4.7 Control de ataque contra sulfuro	14
4.8 Cloruro de sodio	14
5. Recubrimientos Orgánicos	17
5.1 Definición	17
5.2 Métodos de Aplicación	17
5.2.1 Uso de Brochas y rodillos	17
5.2.2 Aplicación por aspersión	17
5.2.3 Recubrimiento por inmersión y por flujo	18
6. Análisis de Experimentos	19
6.1 Materiales Utilizados	19
6.1.1 Cemento Pórtland	19
6.1.2 Cal Hidratada	20
6.1.2.1 Cal del Valle	20
6.1.2.2 Cal Santa Cruz	21
6.1.2.3 Cal los Arcos	22
6.1.2.4 Cal Export	22
6.1.3 El agua	23
6.1.4 Arena	23
6.1.5 Sal	23
6.1.6 Recubrimiento	24
6.2 Fabricación del mortero	24
6.3 Pruebas en el mortero	25
6.3.1 Pruebas de resistencia a la compresión del mortero	25
7. Desarrollo Experimental	29
7.1 Elaboración de la muestra base	29
7.2 Elaboración del cloruro de sodio	35
7.3 Recubrimiento de las muestras	35
7.4 Inmersión al cloruro de sodio	35
8. Reglamentos	37
8.1 Normas para la cal hidratada	39
8.2 Resistencia a la compresión	39
8.3 Mortero para pegar piezas	40

	Págs.
9. Análisis de Resultados	41
Conclusiones y Recomendaciones	57
Referencias	59

Índice de figuras

Figura 2.1 Proceso de fabricación del Cemento Portland	8
Figura 6.1 Bulto de Cemento Pórtland "Holcim Apasco"	20
Figura 6.2 Saco de Cal Hidratada "Cal del Valle"	21
Figura 6.3 Saco de Cal Hidratada "Cal Santa Cruz"	21
Figura 6.4 Saco de Cal Hidratada "Cal Los Arcos"	22
Figura 6.5 Saco de Cal Hidratada "Cal Export"	22
Figura 6.6 Sal yodada de cocina en grano "Roche Martajada"	23
Figura 6.7 Pegatirol utilizado como recubrimiento "Pracktico Tirol"	24
Figura 7.1 Equipo necesario para la elaboración de la mezcla	30
Figura 7.2 Mezcla de los materiales en forma de volcán	31
Figura 7.3 Mezcla de mortero cemento-cal-arena	31
Figura 7.4 Llenado de los moldes con la mezcla	32
Figura 7.5 Moldes cúbicos llenos con mezcla de mortero	32
Figura 7.6 Descimbrado de las muestras cúbicas	33
Figura 7.7 Muestras reposando en el cuarto húmedo para su curado	34
Figura 7.8 Muestras sumergidas en el cloruro de sodio	36

Índice de tablas

Tabla 6.1 Proporcionamientos en volumen, recomendados para mortero	27
Tabla 7.1 Observaciones de las mezclas de mortero cemento-cal-arena	33
Tabla 9.1 Proporcionamiento de los materiales para el mortero.	41
Tabla 9.2 Proporcionamiento de los materiales para el mortero.	41
Tabla 9.3 Muestras base con Cal del Valle.	42
Tabla 9.4 Muestras base con Cal la Santa Cruz.	42
Tabla 9.5 Muestras base con Cal los Arcos.	43
Tabla 9.6 Muestras base con Cal Export.	43
Tabla 9.7 Resistencia a la compresión de las muestras base	44
Tabla 9.8 Muestras de cal del valle sometidas al cloruro de sodio.	45
Tabla 9.9 Muestras de Cal Santa Cruz sometidas al cloruro de sodio.	46
Tabla 9.10 Muestras de Cal Los Arcos sometidas al cloruro de sodio.	47
Tabla 9.11 Muestras de Cal Export sometidas al cloruro de sodio.	47
Tabla 9.12 Resistencia a la compresión de las muestras sometidas al cloruro de	

	Págs.
sodio.	48
Tabla 9.13 Muestras de cal del valle recubiertas, sometidas al cloruro de sodio	49
Tabla 9.14 Muestras de Cal Santa Cruz recubiertas, sometidas al cloruro de sodio	50
Tabla 9.15 Muestras de Cal Los Arcos recubiertas, sometidas al cloruro de sodio	50
Tabla 9.16. Muestras de Cal Export recubiertas, sometidas al cloruro de sodio	51
Tabla 9.17. Resistencia a compresión de las muestras recubiertas sometidas al cloruro de sodio	52

Índice de Gráficas

Gráfica 9.1 Resistencia a compresión de las muestras base.	44
Gráfica 9.2 Resistencia a compresión de las muestras sometidas al cloruro de sodio	49
Gráfica 9.3 Resistencia a compresión de las muestras recubiertas sometidas al cloruro de sodio	52
Gráfica 9.4 Comportamiento de la Cal del Valle en las tres distintas pruebas realizadas.	53
Gráfica 9.5 Comportamiento de la Cal Santa Cruz en las tres distintas pruebas realizadas	54
Gráfica 9.6 Comportamiento de la Cal Los Arcos en las tres distintas pruebas realizadas	54
9.7 Comportamiento de la Cal Export en las tres distintas pruebas realizadas	55

Introducción

Hablar de morteros, es muy común en esta época; sin embargo, la cal ya era conocida en el sexto milenio A. de C. como material de construcción para morteros y revestimientos. Sin embargo, el uso en trabajos que requieran de una mayor resistencia en la construcción ha sido sustituido por el cemento Pórtland.

Por lo contrario la cal presenta mayor durabilidad y adherencia que el cemento Pórtland, tal sería el ejemplo de mencionar obras de gran edad en las cuales se presenta poco deterioro en comparación con el que se presenta en el cemento portland es por eso que anteriormente en los procesos constructivos se utilizó la cal para pegar piezas.

Debido a que la cal sigue siendo un material de uso común en la construcción, se puede encontrar una gran diversidad de marcas en la región, es por esto que en este trabajo se ponen a prueba las propiedades mecánicas de morteros de cal tipo III según las normas Técnicas del Reglamento de Construcción del Distrito Federal para la construcción de morteros para mampostería.

Las cuatro diferentes marcas de cal hidratada que se analizaron en las pruebas son las siguientes:

- Cal del Valle S.A de C.V. (I)
- Cal La Santa Cruz (II)
- Cal Los Arcos (III)
- Cal Export (IV)

En este trabajo se presenta una reseña histórica de la cal que es el material en estudio, además de los agregados que se utilizan en la elaboración de un mortero.

Posteriormente se hace mención de la historia y fabricación del cemento portland y de los materiales más utilizados en los morteros.

También se da una definición del término durabilidad, los agentes y tipos de exposición los cuales pueden afectar la durabilidad de los morteros.

La construcción de los morteros se hace bajo las normas establecidas por los reglamentos de construcción del Distrito Federal y el estado de Querétaro. Dentro de estos dos se mencionan tres tipos de mortero. En este trabajo se elabora el tipo III ya que es el que cuenta con un mayor contenido de cal, debido a que es el objeto de análisis en las pruebas que se realizaron.

Los morteros se exponen a cloruro de sodio al diez por ciento sumergiendo las muestras en agua a 3, 7, 14 y 28 días de edad para analizar la manera en que disminuye la resistencia a la compresión debido a dicho degradante.

De igual manera se someten 3 muestras de cada tipo de cal, recubiertas con pegatirol a las edades mencionadas anteriormente para disminuir los efectos del degradante.

Justificación

El terreno en el que en muchas ocasiones se edifica está expuesto a agentes externos o internos que le aportan una característica, con la que hay que contar a la hora de proyectar una construcción, ya que va a condicionar algunos aspectos de la misma: esto es la agresividad.

La agresividad o ataque químico del terreno puede afectar a las estructuras que están en contacto con él, en mayor o menor medida, afectando por tanto la durabilidad de esas estructuras y por tanto su resistencia y estabilidad a lo largo del tiempo.

El principal agente agresivo es el agua, bien directamente o bien como vehículo *de transporte* de los agentes agresivos y ya que en el terreno nos podemos encontrar agua en forma de niveles freáticos estables o colgados, condensaciones bajo cimentaciones o escorrentía subterránea por riego o lluvia.

Debido a los diversos factores tales como la lluvia, el contacto con el agua de mar o la brisa marina, dada su elevada concentración de cloruros (más de 20,000 ppm), afectan a los morteros que se encuentran a la intemperie.

El ataque de sulfatos ocurre donde hay concentraciones relativamente altas de sulfatos de sodio, potasio, calcio o magnesio, tanto en suelos como en aguas subterráneas, superficiales o en aguas de mar. También pueden ocurrir asociados a algunas instalaciones industriales, desechos, aguas fecales o subproductos de cualquier tipo, acumulados de forma incontrolada. Los sulfatos son muy solubles en agua y penetran con facilidad en estructuras expuestas a los mismos.

Las sales son compuestos iónicos son los causantes de la mayoría de las patologías en morteros, a causa de sus ciclos de hidratación y deshidratación durante los cuales experimentan fuertes variaciones de tamaño desencadenando fuertes presiones en los espacios intergranulares creando fisuras que fracturan o disgregan la roca.

Es por eso que es necesario encontrar la resistencia residual de morteros elaborados con Cemento Pórtland, Cal y arena debido a las sales que los pueden afectar.

Objetivo

Encontrar las propiedades mecánicas residuales de las distintas marcas de cal que se tienen en la región, a partir de la elaboración de morteros del tipo III y exponiéndolas a la degradación con cloruro de sodio al 10% con un aditivo protector y sin él.

Con el propósito de obtener la resistencia base de cada mortero elaborado con las diferentes marcas, su reacción al cloruro de sodio al 10 % y al recubrimiento orgánico que se le aplica.

Determinar una marca de cal útil para el uso que sea necesario.

Capítulo I “La cal”

1.1 Definición

Es un producto blanco, sólido, con un elevado punto de fusión. Tiene avidez por el agua que tras la reacción exotérmica, se transforma en hidróxido cálcico.

Se llama cal a todo producto sea cual fuere su composición y aspecto físico, que proceda de la calcinación de piedras calizas por debajo de la temperatura de descomposición del óxido de calcio. Después del proceso de calcinación hay que proceder a la extinción o apagado del anhídrido, con lo cual se obtiene un material hidratado en forma pulverulenta o pastosa, según la cantidad de agua añadida.

1.2 Antecedentes

El mundo fue construido con cal; la importancia histórica de la cal en la construcción se encuentra ampliamente documentada. Los morteros de cal fueron utilizados en muchas de las grandes estructuras por civilizaciones más tempranas, pero los romanos fueron los primeros en usarlos ampliamente en edificación, desarrollando métodos de fabricación en general con base en cementante natural de cal y estableciendo técnicas de construcción apropiadas. (Delatte, N. J.)

Los más antiguos y conocidos datos de la utilización de la cal y sus derivados son de la cultura Anatolia en la actual Turquía, en Catal Hüyük (6000 a. C.), donde las viviendas de la ciudad estaban provistas de dos niveles, el más bajo dotado de pilares de madera recubiertos con una mezcla de cal pintada de rojo y de igual manera el piso.

La cultura maya utilizó la cal en los centros ceremoniales como Copán, Palenque, y Chichén Itzá, estucando y tiñendo las decoraciones esculpidas; el modo de

fabricar cal en el mundo maya es sobresaliente: la transformación de las calizas es una pasta untuosa, adhesiva y con gran resistencia mecánica.

Gracias a esta invención tecnológica que los constructores mayas edificaron sus grandes centros ceremoniales y urbanos, utilizando mezclas de cal para pegar piedra con piedra, y que los artistas realizaron relieves en estuco utilizando la cal como materia prima para el modelado. La cal fue no sólo un cementante de alta calidad que ha sobrevivido en la selva durante más de 1500 años, sino la base de la química cotidiana del mundo maya. Las propiedades de la pasta de cal maya son excelentes: posee adhesividad, plasticidad y alta resistencia mecánica; ha probado su calidad al sobrevivir en un contexto climático particularmente difícil. (Garate Rojas, Ignacio 2002)

1.3 Tipos de cal

1.3.1 Cal Viva

La cal viva se obtiene de la calcinación de la caliza que al desprender anhídrido carbónico, se transforma en óxido de calcio. La cal viva debe ser capaz de combinarse con el agua, para transformarse de óxido a hidróxido y una vez apagada, se aplique en la construcción.

1.3.2 Cal Hidratada

Se le conoce con el nombre comercial de Cal Hidratada a la especie química de hidróxido de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ la cual es una base fuerte formada por el metal calcio unido a dos grupos hidróxidos.

1.3.3 Cal Hidráulica

Es una cal compuesta principalmente de hidróxido de calcio, sílica (SiO_2) y alúmina (Al_2O_3) o mezclas sintéticas de composición similar. Tiene la propiedad de fraguar y endurecer incluso debajo del agua.

1.4 Procesos de obtención de la cal

1.4.1 Extracción

Se desmonta el área a trabajar y se lleva a cabo el descapote, posteriormente se barrena aplicando el plan de minado diseñado, se realiza la carga de explosivos y se procede a la voladura primaria, moneo, tumbe y rezagado, carca y acarreo a planta de trituración.

1.4.2 Trituración

Posteriormente es sometida a un proceso de trituración que arrojará como producto trozos de menor tamaño que serán calcinados en hornos verticales. También puede realizarse una trituración secundaria cuando se requieren fragmentos de menor tamaño y se tienen hornos rotatorios para calcinar.

1.4.3 Calcinación

La cal es producida por calcinación de la caliza y dolomía triturada por exposición directa al fuego de los hornos. En esta etapa las rocas sometidas a calcinación pierden bióxido de carbono y se produce el óxido de calcio (cal viva).

1.4.4 Enfriamiento

Posteriormente se somete a un proceso de enfriamiento para que la cal pueda ser manejada y los gases calientes regresan al horno como aire secundario.

1.4.5 Inspección

Se inspecciona cuidadosamente las muestras para evitar núcleos o piezas de roca sin calcinar.

1.4.6 Cribado

Se somete a un cribado con el fin de separar la cal viva en trozo y en guijarros (piedra pequeña, redondeada y lisa) de la porción que pasará por un proceso de trituración y pulverización.

1.4.7 Trituración y Pulverización

Se realiza con el objeto de reducir más el tamaño y así obtener cal viva molida y pulverizada, la cual se separa de la que será enviada al proceso de hidratación.

1.4.8 Hidratación

Consiste en agregar agua a la cal viva para obtener la cal hidratada. A la cal viva dolomítica y alta en calcio se le agrega agua y es sometida a un separador de residuos para obtener cal hidratada normal dolomítica y alta en calcio. Únicamente la cal viva dolomítica pasa por un hidratador a presión y posteriormente a molienda para obtener cal dolomítica hidratada a presión.

1.4.9 Envase y embarque

En México, la cal es llevada a una tolva de envase e introducida en sacos y transportada a través de bandas hasta el medio de transporte que las llevará al cliente. (Manual de Promical, Colombia)

1.5 Principales beneficios de la cal en los morteros

- Mejora la trabajabilidad, aumenta la plasticidad de la masa.
- Incrementa la inercia térmica.
- Mejora la hidratación de los cementos.

1.6 Marcas utilizadas en el proyecto

- Cal del Valle
- Cal Santa Cruz
- Cal Los Arcos
- Cal Export

Capítulo II “Cemento Pórtland”

2.1 Generalidades

El cemento Pórtland es un aglutinante o conglomerante hidráulico que, mezclado con agregados pétreos (árido grueso o grava más árido fino o arena) y agua, crea una mezcla uniforme, manejable y plástica capaz de fraguar y endurecer al reaccionar con el agua y adquiriendo por ello consistencia pétreo, el hormigón o concreto. Su uso está muy generalizado, siendo su principal función la de aglutinante.

2.2 Cemento Pórtland

La patente de cemento Pórtland se obtuvo en 1824 por Joseph Aspdin. Este cemento fue preparado calentando una mezcla de arcilla finamente triturada y caliza dura en un horno, hasta eliminar el CO_2 . El prototipo del cemento moderno lo obtuvo en 1845 Isaac Johnson, quien quemó una mezcla de arcilla y caliza hasta formar clinker, lo con la cual se produjo la reacción necesaria para la formación de un compuesto cementante. El nombre de cemento Pórtland, concebido originalmente debido a la semejanza de color y calidad entre el cemento endurecido y la piedra de Pórtland, se ha conservado en todo el mundo hasta nuestros días para describir un cemento que se obtiene al mezclar minuciosamente materiales calcáreos y arcillosos u otros materiales que contienen sílice, alúmina, u óxidos de fierro; quemándolos a una temperatura de formación de clinker a una temperatura que oscila entre 1350 y 1450 °C y por medio de la molienda, el clinker resultante se revuelve con una pequeña cantidad de yeso. (Neville Adam M)

2.3 Fabricación

Las materias primas son piedras calizas y arcillas. En un principio se buscaron canteras de piedras calizas arcillosas, con 20-40% de arcillas. En la actualidad se explotan por separado calizas y arcillas, mezcladas luego en la proporción adecuada. Las sucesivas etapas de la fabricación son:

2.3.1 Mezcla y molienda de las materias primas

Ambos procesos se cumplen conjuntamente dentro del molino de bolas, gran tambor horizontal giratorio dentro del cual hay bolas metálicas. Los choques, durante su rotación, pulverizan las materias primas, convertidas en pasta cruda. Se puede trabajar de dos maneras: por vía seca, en la que la mezcla y molienda se efectúan con las materias primas solamente, o por vía húmeda, en la que se mezcla y muele en presencia de agua.

2.3.2 Cocción de la pasta cruda

De los molinos de bolas la pasta cruda pasa a los hornos rotatorios continuos, semejantes a los de cal viva, pero de 200 metros de longitud y 10 metros de diámetro. El tubo tiene su chapa interiormente revestida de ladrillos refractarios. Giran lentamente: 1 vuelta por minuto. Debido a la pendiente, la pasta cruda desciende del extremo superior al inferior. Un quemador, de aceite como combustible y aire primario a presión, o bien de gas natural, genera una larga llama, cuya temperatura se eleva a 1500° C. Primero se deseca la pasta cruda. Después los carbonatos se calcinan. Por último, reaccionan los distintos óxidos. El producto obtenido, llamado clinker, es negro, duro y granulado. Cae caliente dentro de un sistema enfriador; por ejemplo, otro cilindro rotatorio por el que circula aire frío a contracorriente. El aire así calentado actúa como aire secundario en la combustión. Los hornos de cemento funcionan ininterrumpidamente con rendimientos de varios miles de toneladas diarias de clinker.

2.3.3. Transformación del clinker en cemento portland

El clinker se estaciona un mínimo de 15 a 30 días. Luego se muele finalmente en el molino de bolas. Durante la molienda se incorpora un 3% de yeso crudo. Este aditivo regula el tiempo de fraguado. El cemento portland no enyesado fragua velozmente: a los 5 minutos de empastado con agua endurece, en cambio cuando contiene yeso, se inicia el fraguado a los 45 minutos de agregada el agua. El cemento molido se conserva dentro de enormes silos, protegido de la humedad ambiente.

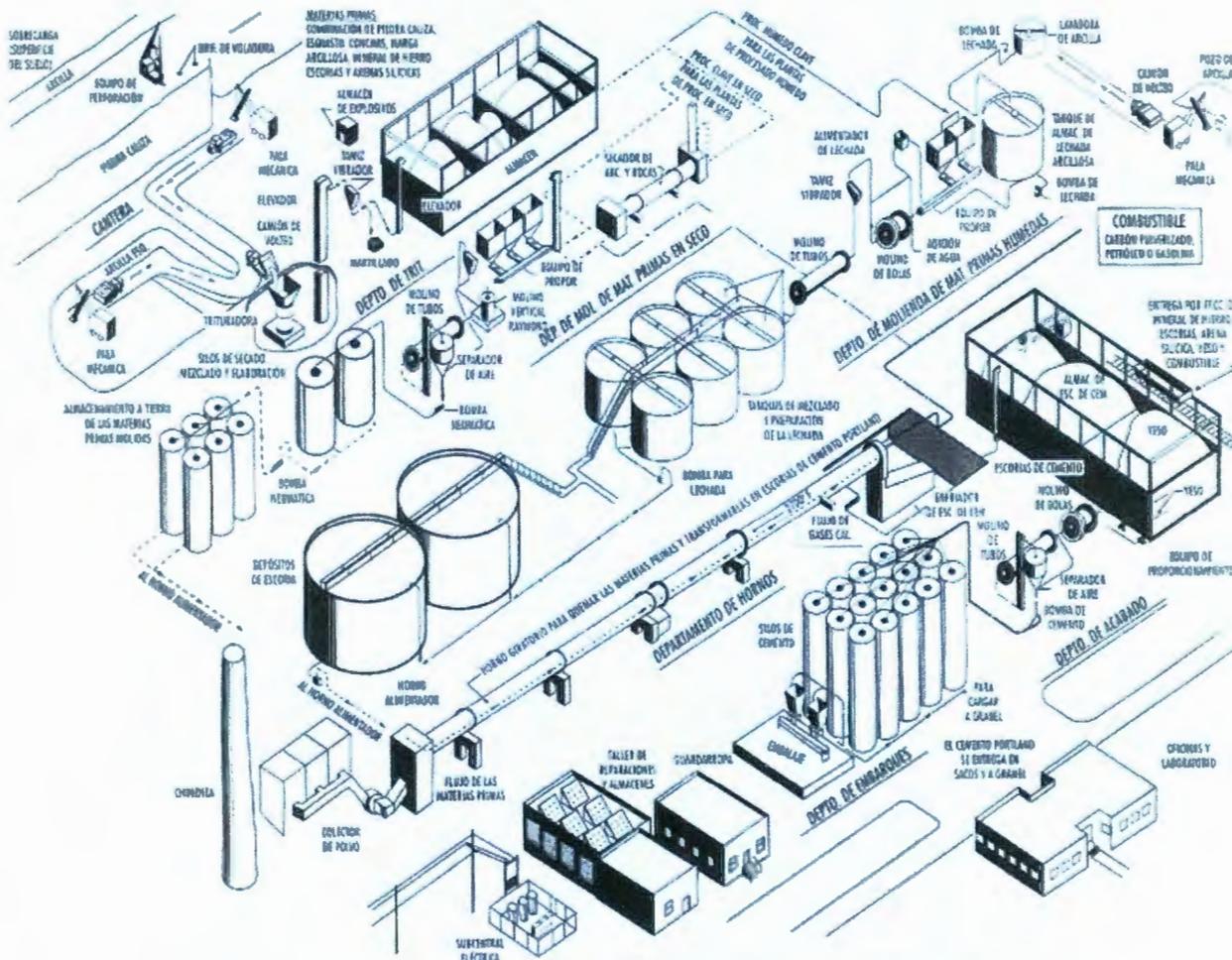


Figura 2.1 Proceso de fabricación del cemento Pórtland

(<http://es.wikipedia.org/wiki/Cemento>)

Capítulo III “Morteros”

3.1 Generalidades

Los morteros son mezclas plásticas aglomerantes que resultan de combinar arena y agua con un material cementante que puede ser cemento, cal, o una mezcla de estos materiales.

Las principales propiedades de los morteros son: su resistencia a la compresión y tensión, adherencia con la piedra, módulo de elasticidad, trabajabilidad, rapidez de fraguado, e impermeabilidad. Otra característica importante es su retención de agua, es decir, su capacidad para evitar que la pieza absorba el agua necesaria para el fraguado del mortero.

Los morteros de cal son materiales dinámicos, continúan interactuando con el ambiente después de endurecer durante el proceso de carbonatación y se adaptan a los cambios en las estructuras. (IMCYC)

El endurecimiento por carbonatación se produce cuando el contenido de humedad ha disminuido lo suficiente y la cal (Ca(OH)_2) reacciona con el CO_2 del aire formando CaCO_3 . Este proceso no puede realizarse bajo el agua; el fraguado ocurre lentamente desde el exterior hacia el interior del mortero.

La finalidad de los morteros es servir de unión o asentamientos entre otros elementos arquitectónicos, así como para la elaboración de los mismos.

Los morteros poseen unas características y composición muy similar a los materiales pétreos, y por tanto poseen unos agentes de alteración y alteraciones muy similares. Sin embargo es necesario citar ciertas características que los morteros de unión o reconstrucción deben respetar:

- Deben ser más porosos que el material al que sirven de puente de unión, con el fin de favorecer la evaporación de agua y migración de sales, evitando el deterioro así de las piezas que unen.
- Deben ser menos resistentes que el material al que sirven de unión, con el fin de evitar fracturar este en caso de fuerzas mecánicas.
- Los morteros de unión, son siempre morteros de sacrificio, pues poseen un valor histórico o artístico menor que los elementos a los que unen.
- De igual forma los morteros de enlucidos y enfoscados deben poseer una adecuada permeabilidad al vapor de agua, sino este cederá ante las presiones ejercidas.

Capítulo IV “Durabilidad”

4.1 Definición

La durabilidad del mortero a base de cemento portland se define como la habilidad de resistir las acciones del clima, ataques químicos, abrasión, y otros procesos de deterioro. Un mortero durable mantendrá su forma original, calidad y funcionamiento cuando se exponga a su entorno.

El agua es uno de los agentes primarios en la creación y destrucción de muchos materiales naturales. El agua tiende a ser central en la mayoría de los problemas de durabilidad del concreto. En los sólidos porosos, el agua es conocida por ser la causa de muchos tipos de procesos físicos de degradación. También puede ser la fuente de procesos químicos de degradación.

El fenómeno físico – químico que se asocia con el movimiento del agua en sólidos porosos es controlado por la permeabilidad de los sólidos.

El rango de deterioro depende del tipo de concentración de iones en el agua y de la composición química de los sólidos. Debido a que el concreto es un material básico, las aguas acidas dañan particularmente al concreto. La mayor parte de nuestro conocimiento en cuanto a los procesos físico-químicos responsables del deterioro del concreto vienen de estructuras en campo, debido a que en el laboratorio es difícil simular las condiciones de la vida real. (Mehta P. Kumar)

4.2 Deterioro de polímeros y cerámicos

Los materiales no metálicos son resistentes al deterioro. En particular, son inmunes a la corrosión electroquímica que ocasiona la oxidación del hierro. Sin embargo, experimentan deterioro de otras clases, padecen ataque químico por el agua del subsuelo y, sobre todo con mayor ímpetu por el agua de mar. (A. G. Guy)

4.3 Agua como agente de deterioro

Ya sea el agua de mar, agua subterránea, ríos, lagos, lluvia, nieve y vapor, el agua es sin duda el fluido más abundante en la naturaleza. Debido a su tamaño, las moléculas del agua son capaces de penetrar dentro de poros o cavidades extremadamente pequeños. Así mismo, el agua destaca por disolver más sustancias que cualquier otro líquido conocido. El agua también tiene el mayor calor de vaporización entre los líquidos comunes; es decir, tiene la tendencia de permanecer en un material en el estado líquido a temperaturas ordinarias, esto es preferible que vaporizar y dejar el material seco.

Los cambios y movimientos internos de la estructura del agua son conocidos por causar cambios volumétricos inesperados de varios tipos en los sólidos porosos.

4.4 Fracturas por cristalización de sales en los poros

Cuando un lado de un muro de contención de concreto permeable está en contacto con una solución salina y el otro lado está sujeto a evaporación, el material se puede deteriorar debido a la tensión debida a la presión que se ejerce por la cristalización de las sales en los poros la cristalización de las sales de las soluciones súper saturadas es conocida en los materiales porosos por producir presiones lo suficientemente grandes para provocar el fracturamiento.

La cristalización de la sal de una solución ocurre solamente cuando la concentración del soluto excede la concentración de saturación a una temperatura dada.

4.5 Deterioro por acciones químicas

La resistencia del concreto a los procesos de deterioro desatados por las reacciones químicas, incluye generalmente pero no necesariamente, interacciones químicas entre agentes agresivos presentes en el ambiente externo y los constituyentes de la pasta del cemento.

Teóricamente, cualquier ambiente con menos de 12.5 pH puede ser considerado agresivo, porque una reducción de la alcalinidad del fluido de poro, finalmente conducirá a la desestabilización de los productos cementantes de la hidratación. (Mehta P. Kumar)

La velocidad de ataque químico en el concreto será una función del pH del fluido agresivo y de la permeabilidad del concreto. Cuando la permeabilidad del concreto es baja y el pH del agua agresiva está por arriba de 6, la velocidad del ataque químico es considerada muy lenta para tomarla en cuenta seriamente.

Nuevamente es necesario subrayar que las reacciones químicas se manifiestan en efectos físicos dañinos tales como el incremento en la porosidad y en la permeabilidad, en la disminución de la resistencia y en el agrietamiento y descascaramiento. En la práctica, algunos procesos químicos y físicos de deterioro actúan al mismo tiempo y pueden aun reforzarse el uno al otro.

4.6 Ataque por sulfatos

Concentraciones más altas de sulfato en aguas subterráneas son en general debidas a la presencia de sulfatos de magnesio y de álcali. El sulfato de amonio está presente frecuentemente en suelos agrícolas y en las aguas. Los efluentes de hornos que usan combustibles con alto sulfuro y de la industria química pueden contener ácido sulfúrico. El deterioro de la materia orgánica en pantanos, lagos superficiales, pozos de minas y tubos de drenajes, conducen a menudo la formación de H_2S , lo que puede ser transformado en ácido sulfúrico por medio de la acción bacteriana.

La degradación del concreto como un resultado de las reacciones químicas entre el cemento portland hidratado y iones de sulfato de una fuente externa, se sabe que toma dos formas, que son muy diferentes una de otra. El predominante en un caso dado, depende de la concentración y fuente de los iones de sulfato en el agua de contacto y de la composición de la pasta de cemento en el concreto. El ataque de sulfatos puede manifestarse en forma de expansión del concreto.

4.7 Control de ataque contra sulfuros

De acuerdo con la referencia Mehta P. Kumar los factores que influyen en los ataques de sulfatos son:

- (1) la cantidad y naturaleza del sulfato presente
- (2) el nivel de agua y su variación temporal
- (3) el flujo del agua subterránea y la porosidad del suelo
- (4) la forma de la construcción

(5) la calidad de concreto. Si no se puede prevenir el contacto del agua sulfurosa con el concreto.

Al seleccionar el tipo de cemento para obtener resistencia a sulfatos se considera principalmente el contenido de aluminio tricálcico (C_3A), debido a que los cementos con bajos porcentajes de C_3A son especialmente resistentes a suelos y aguas que congelan sulfatos. Cuando sea importante tomar precauciones contra el ataque moderado de sulfatos, como en las estructuras de drenajes en donde las concentraciones de sulfatos en el agua del subsuelo son más altas que la normal no necesariamente severas (0.10 a 0.20 por ciento) debe especificarse cemento Pórtland del tipo II (el contenido máximo de C_3A es del 8 % bajo ASTM C150). (IMCYC)

4.8 Cloruro de Sodio.

El cloruro de sodio, también conocido como sal común o sal de mesa, o halita, es un compuesto químico con la fórmula NaCl. El cloruro de sodio es la sal responsable de la salinidad del océano y del fluido extracelular de muchos organismos. También es el mayor componente de la sal comestible, es comúnmente usada como condimento y preservativo de comida. (Feldman Susan R)

La función más inmediata del mortero es la de servir de lecho para los sillares superiores y laterales, aumentando la superficie de contacto entre piedras, repartiendo mejor las fuerzas originadas por la carga del muro.

Un efecto similar sucede con el uso de morteros de rejunte muy impermeables en muros antiguos levantados con morteros de cal, ya que cuando el agua llega a la superficie de estos nuevos morteros, encuentra una barrera, optando por la superficie de la piedra como vía de escape, produciendo daños.

Otra característica de los morteros, y más concretamente, del cemento Pórtland, son los procesos de capilaridad, en una breve definición de este fenómeno podría decirse que es la propiedad que tiene el agua (o un líquido) para ascender por un capilar venciendo la fuerza de la gravedad, cuanto más fino sea el capilar mas altura alcanzará. Tal fenómeno es extrapolable al tamaño del "poro" de un mortero, cuanto más pequeño es este, mas favorece la ascensión capilar, en general los morteros de cal poseen un poro más grande que el mortero de cemento Pórtland. Los fenómenos de capilaridad también se producen en las piedras.

El deterioro por sales sea causado por la existencia de sales en la pared o en sales aportadas por los materiales sino que el problema reside en los defectos de drenaje, aislamiento, transpiración del muro, a la que se esta sometiendo esa estructura, siendo estos los factores sobre los que debemos intervenir para que cese el ataque producido por las sales.

Pero el factor que determina los ciclos de cristalización es la situación microclimática (condiciones ambientales que lo rodean) a la que está sometida un muro es también un factor importante en el control de un ataque por sales, ya que posibles actuaciones a favor de la disminución de estos ataques, son en muchos casos inviables por los costoso de las intervenciones. Las variaciones de estos factores ambientales son tan importantes porque nos determinan los intervalos a los que nuestras sales van a cristalizar o solubilizarse, por ejemplo se conoce que el Cloruro sódico cristaliza por debajo del 75% a 25 °C, ósea que a 25°C y un 40% de humedad el

Cloruro sódico es un cristal y al 80% a 25°C es líquido, otras sales, como algunos carbonatos cristalizan en humedades superiores al 80%, y otras sales como el sulfato de sodio pasan de hidratado a anhidro según se varíe la temperatura entre 32 y 25°C, valores en muchos casos próximos a las temperaturas y humedades ambiente.

Capítulo V “Recubrimientos orgánicos”

5.1 Definición

Los recubrimientos orgánicos son polímeros y resinas producidas en forma natural o sintética, generalmente formulados para aplicarse como líquidos que se secan o endurecen como películas de superficies delgadas en materiales del sustrato. Estos recubrimientos se aprecian por la variedad de colores y texturas posibles, su capacidad de proteger la superficie del sustrato, su bajo costo y la facilidad con que se aplica. (<http://www.mitecnologico.com/mecatronica/Main/Recubrimientos>)

5.2 Métodos de aplicación

Los métodos para aplicar un recubrimiento orgánico a una superficie depende de varios factores como la composición del líquido del recubrimiento, el espesor, la velocidad de producción y consideraciones de costo, tamaño de partes y requerimientos ambientales.

Los métodos disponibles para aplicar recubrimientos orgánicos líquidos incluyen el uso de las brochas y rodillos, la aspersion, inmersión y el recubrimiento con flujo.

5.2.1 Uso de brochas y rodillos

Estos son dos métodos de aplicación más conocidos y tienen una alta eficiencia de transferencia, que se acerca al 100%.

5.2.2 Aplicación por aspersion

El recubrimiento por aspersion es un método de producción muy utilizado para aplicar recubrimientos orgánicos. El proceso obliga al líquido de recubrimiento atomizarse dentro de un vapor fino inmediatamente antes de la deposición sobre la superficie de la parte.

5.2.3 Recubrimiento por inmersión y por flujo

Estos métodos aplican grandes cantidades de recubrimiento líquido a la parte de trabajo y permiten drenar el exceso para reciclarlo. El método más simple es el de recubrimiento por inmersión, en el cual se sumerge la parte de un tanque abierto con material de recubrimiento líquido; cuando se retira la parte, el exceso del líquido se drena de vuelta al tanque.

Capítulo VI “Análisis de Experimentos”

En este capítulo presentaremos todos los materiales que vamos a utilizar a lo largo de la investigación así como las pruebas físicas y mecánicas que tuvimos que hacer a los materiales y a las mezclas elaboradas, de acuerdo con las normas citadas en los distintos reglamentos

6.1 Materiales Utilizados.

6.1.1 Cemento Pórtland

El cemento que se utilizó para este estudio fue el Cemento Portland compuesto (CPC 30R) Holcim Apasco, que es recomendado para utilizarse en cualquier tipo de obra, en la construcción de estructuras y en la fabricación de productos de concreto, lográndose excelentes resultados. Se recomienda especialmente para elementos tales como: losas, columnas, trabes, cimientos, zapatas, pilotes, construcción y productos de; vivienda en general, drenajes, presas, adoquines, bloques y tabicones, tanques y canales.

(<http://www.holcim.com/MX/MEX/b/IEW/oid/44186/module/gnm20/jsp/templates/product/product.html>)

Se puede encontrar fácilmente en cualquier distribuidor de materiales en la ciudad de Querétaro.



Figura 6.1. Bulto de Cemento Pórtland “Holcim Apasco”

6.1.2 Cal hidratada

Los bultos de cal se introdujeron en dos bolsas de plástico para conservar su humedad y evitar posibles alteraciones o que se mezcle con algún otro material que se encuentre en el laboratorio.

6.1.2.1 Cal del Valle

Esta cal no es tan fácil de encontrar en cualquier casa de materiales o ferreterías, solamente algunas pocas la distribuyen en la región queretana, sin embargo, se indica en el bulto que cumple con los requisitos especificados en la norma NMX-C-003-ONNCCE.



Figura 6.2. Saco de Cal Hidratada “Cal del Valle”

6.1.2.2 Cal Santa Cruz

Se indica en el bulto que cumple con los requisitos especificados en la norma NMX-C-003-ONNCCE.



Figura 6.3. Saco de Cal Hidratada “Cal Santa Cruz”

6.1.2.3 Cal Los Arcos

Ésta es la cal más común en la región además de que como se indica en el bulto cumple con los requisitos especificados en la norma NMX-C-003-ONNCCE.



Figura 6.4. Saco de Cal Hidratada "Cal Los Arcos"

6.1.2.4 Cal Export

Indica en el bulto que cumple con los requisitos especificados en la norma NMXC-003-ONNCCE.



Figura 6.5. Saco de Cal Hidratada “Cal Export”

6.1.3 El Agua

En la ciudad de el agua potable resulta satisfactoria para utilizarse en el mezclado de concreto y mortero y este es el criterio de calidad que usualmente se especifica. Sin embargo, en general debe conocerse si existe presencia de impurezas dañinas como álcalis, ácidos, materia orgánica, aceite o cantidades excesivas de limo o arcilla. (Serrano Gutiérrez, René, 2002)

6.1.4 Arena

El agregado fino que se usó en la prueba se adquirió en la casa de materiales La Providencia la cual adquiere los materiales en un banco ubicado en la ciudad de Cuerámara Guanajuato. A este material se le hicieron los estudios de calidad en diversas ocasiones, ajusta en lo general a las especificaciones y puede considerarse como aceptable para elaboración de morteros.

6.1.5 Sal

Se utilizó sal de grano de cocina de la marca Roche para la elaboración del cloruro de sodio, la cual contiene como ingredientes Sal (cloruro de sodio) y yodato de potasio de 34 a 68 mg/kg de Sal



Figura 6.6. Sal yodada de cocina en grano “Roche Martajada”

6.1.6 Recubrimiento

El recubrimiento orgánico que se utilizó fue un Pegatirol de nombre “Pracktico Tirol” de la marca Comex.



Figura 6.7. Pega tirol utilizado como recubrimiento “Pracktico Tirol”

6.2 Fabricación del mortero

Las propiedades mecánicas de los morteros son muy variables y dependen principalmente del tipo de cementante utilizado y de la relación arena/cementante. Los morteros a base de cal, son de baja resistencia a compresión, del orden de 1 a 10 kg/cm², por lo cual en las NTCM (Normas Técnicas Complementarias para diseño y construcción de estructuras de Mampostería) se descarta el uso de la cal como único cementante del mortero en elementos que tengan función estructural. Según dichas normas, todo mortero deberá tener cemento hidráulico. Las mezclas que se obtienen son muy trabajables, de fraguado lento y con buena retención de agua. El fraguado lento es favorable ya que permite preparar una mezcla para toda una jornada de trabajo, sin embargo una desventaja importante se refiere a que la resistencia de la mampostería se desarrolla lentamente.

Son requisitos esenciales para el mezclado satisfactorio del mortero que los materiales queden distribuidos uniformemente y que todas las superficies del agregado

resulten bien cubiertas con la pasta cemento-cal-arena-agua. Para lograr esto en tiempo razonable hay que buscar que la charola este limpia y en buenas condiciones.

Se hicieron las mediciones volumétricas de cada uno de los materiales que empleamos en el mortero con las especificaciones del RCDF (Reglamento de Construcción del Distrito Federal) para un mortero para pegar piezas del Tipo III.

Al tener el material medido se vertió en la charola y mezcló uniformemente. El mortero se elaboró con la cantidad de agua mínima necesaria para obtener una pasta manejable. El coeficiente de variación se encuentra entre 20 y 30%. Los materiales se mezclaron en un recipiente no absorbente, prefiriéndose un mezclado mecánico. El tiempo de mezclado, una vez que el agua se agregó, no debe ser menor de 4 min, ni del necesario para alcanzar 120 revoluciones. La consistencia del mortero se ajustó tratando de que alcance la mínima fluidez compatible con una fácil colocación.

Si el mortero comenzaba a endurecerse, se remezclaba hasta que volviera a tomar la consistencia deseada agregándole un poco de agua si era necesario. Sólo se acepta un remezclado.

El índice de resistencia generalmente aceptado es la resistencia a compresión, obtenida según la norma NMX-C-061 mediante el ensaye de muestras cúbicas de 5 cm de lado.

6.3 Pruebas en el mortero

6.3.1 Pruebas de resistencia a la compresión del mortero

La más común de todas las pruebas sobre mortero endurecido es la prueba de resistencia a la compresión; en parte porque es fácil de practicarse, y en parte porque muchas de las características deseables del mortero están relacionadas cualitativamente con su resistencia; fundamentalmente por la importancia intrínseca de la resistencia a la compresión del mortero en el diseño estructural.

Las pruebas de resistencia a la compresión en especímenes tratados normal, las cuales incluyen compactación completa y curado húmedo durante periodo especificado, arrojan resultados, que representan la calidad potencial del mortero.

La resistencia a compresión del mortero, sea para pegar piezas o de relleno, se determina de acuerdo con el ensaye especificado en la norma NMX-C-061-ONNCCE.

El cubo normal es de 5 cm de lado, los cubos son colados en moldes generalmente hechos de acero o fierro colado, con bases sujetas a base de soldadura, se obtendrán como mínimo tres muestras, cada una de al menos tres probetas cúbicas. Estas se ensayan siguiendo la norma NMX-C-061-ONNCCE. (NTCM)

Antes de ensamblar el molde, se tiene que cubrir todas sus caras con una delgada capa de aceite mineral, con la finalidad de prevenir el desarrollo de adherencias entre el molde y el mortero.

Los requerimientos mínimos y dosificaciones para un mortero para pegar piezas están dados en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción para Estructuras de Mampostería del Distrito Federal, y menciona lo siguiente:

Los morteros que se empleen en elementos estructurales de mampostería deberán cumplir con los requisitos siguientes:

- a) Su resistencia a compresión será por lo menos de 4 MPa (40 kg/cm²).
- b) Siempre deberán contener cemento en la cantidad mínima indicada en la tabla 6.1
- c) La relación volumétrica entre la arena y la suma de cementantes se encontrará entre 2.25 y 3. El volumen de arena se medirá en estado suelto.
- d) Se empleará la mínima cantidad de agua que dé como resultado un mortero fácilmente trabajable.

Si el mortero incluye cemento de albañilería, la cantidad máxima de éste, a usar en combinación con cemento, será la indicada en la tabla 6.1.

Tabla 6.1. Proporcionamientos en volumen, recomendados para mortero

Tipo de mortero	Partes de cemento Hidráulico	Partes de Cemento de Albañilería	Partes de Cal Hidratada	Partes de Arena	Resistencia Nominal en Compresion fi* Mpa (kg/cm ²)
I	1	-	0 a 1/4	No menos de 2.25ni más de 3 veces la suma de cementantes en Volumen	12.5 (125)
	1	0 a 1/2	-		
II	1	-	1/4 a 1/2	Volumen	7.5 (75)
	1	1/2 a 1	-		
III	1	-	1/2 a 1 1/4		4 (40)

*El volumen de Arena se medira en estado Suelto

(Normas Técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de mampostería)

Procedimientos para la elaboración y curado de muestras cubicas de mortero para pruebas:

1. Se colocaron los moldes en una superficie horizontal, rígida y nivelada libre de vibraciones.
2. Se vertió el mortero en el molde con una espátula tratando de administrar la cantidad necesaria.
3. Llenamos el molde en tres capas de igual volumen. En la capa final, se agregó una cantidad que llenara el molde después de la consolidación. Ajusté el sobrellenado del molde con mortero representativo y se completaron los golpes requeridos.
4. Cada capa fue varillada 25 veces con el extremo redondeado de la varilla distribuyendo uniformemente los golpes.
5. Se varilló la capa inferior en todo su espesor.
6. Posteriormente varillamos la capa media y la superior, penetrando sin tocar el fondo.
7. Retiró el exceso de mortero de la superficie con la varilla o con una espátula dándole el acabado que se requiere, de una superficie plana y lesa.
8. Los especímenes permanecieron 24 h sin ser movidos.

9. Se marcaron los especímenes con una positiva identificación, sobre alguna de las caras laterales, usando un método que no alterara la superficie del mortero.
10. Después de transcurrido el tiempo antes mencionado, se metieron a un cuarto de curado en donde ahí permanecieron hasta la fecha de su ensaye.

El ensaye de los especímenes cúbicos se realizó en la maquina universal ubicada en el laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro, debidamente calibrada a fin de asegurar que los datos obtenidos en el ensaye los especímenes de mortero son verdaderamente representativos a la resistencia del mortero.

Capítulo VII “Desarrollo Experimental”

En este capítulo se presenta el procedimiento que se siguió para realizar la investigación, informando las cantidades de materiales utilizadas y los resultados que obtuvimos.

7.1 Elaboración de la muestra base

Se pretendió encontrar una mezcla manejable, de buena consistencia y que cumpliera con las cantidades necesarias del material con respecto a las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería para la elaboración de un mortero de cemento-cal-arena de Tipo III.

La intención de este proceso era encontrar la muestra de mortero base, con la cantidad de agua adecuada, para así poder trabajar con las cuatro marcas de cal que se tienen. En este proceso se escogieron distintos valores entre el 20 y el 30 % de los sólidos como se muestra en la tabla 7.1

Con esto se llevaron a cabo los siguientes pasos para la realización de las mezclas base:

1. Preparación del equipo y mediciones del material que se requirió en la prueba. Las mediciones de los cementantes y de la arena se hicieron en la probeta ya que el porcentaje de agua que se le agrega a la mezcla es una proporción del volumen de los cementantes.



Figura 7.1. Equipo necesario para la elaboración de la mezcla.

- Se revisó que los moldes estén limpios, lubricados y en las mejores condiciones de sellado.
 - Se midió la cantidad de 100 ml de cemento en la probeta.
 - Se midió la cantidad de 125 ml de cal en la probeta.
 - Se midió la cantidad de 562.5 ml de arena (en estado suelto) en la probeta.
 - Se midió la cantidad de agua necesaria para la prueba.
 - Se revisó que la charola en la cual se va a mezclar se encuentra limpia y humedecida para evitar que nos tomara agua de la mezcla.
2. Con los materiales listos, se procedió a la elaboración de la mezcla
- Vaciamos en la charola de mezclado el cemento, la cal y la arena.
 - Mezclamos uniformemente, tratando de dejar una mezcla homogénea y en forma de volcán figura 7.2.
 - Se agregó agua en el centro del volcán.



Figura 7.2. Mezcla de los materiales en forma de volcán

- Se esperó aproximadamente un minuto para que los materiales logren hidratarse, y después se procedió, con ayuda de las espátulas a mezclarlos por un tiempo no menor a 4 minutos, revisando que la mezcla quede homogénea como en la figura 7.3.



Figura 7.3 Mezcla de mortero cemento-cal-arena

3. Se procedió al vaciado de la mezcla en los moldes, los cuales se llenaron en tres capas picando cada una de ellas con una varilla de $\frac{1}{4}$ de pulgada veinticinco veces para lograr un mejor acomodo como se muestra en la figura 7.4.



Figura 7.4. Llenado de los moldes con la mezcla

- Con ayuda de la espátula o de la varilla se enrasaron las superficies para dejar una cara plana iguala a las demás



Figura 7.5 Moldes cúbicos llenos con mezcla de mortero

4. Una vez terminado el llenado de los moldes, se dejaron sin mover por veinticuatro horas, figura 7.5, descimbrando posteriormente los cubos y observando su comportamiento.



Figura 7.6 Descimbrado de las muestras cúbicas

De este grupo de pruebas se observó lo que se muestra en la tabla 7.1:

Tabla 7.1. Observaciones de las mezclas de mortero cemento-cal-arena

No. de Mezcla	Cemento (ml)	Cal (ml)	Arena (ml)	Agua (ml)	Observaciones
1	100	125	562.5	157.5	No se logra un buen mezclado quedando una pasta dura y heterogénea
2	100	125	562.5	181.125	Se observa una buena mezcla sólida y se requiere una buena picada para su acomodo en el molde
3	100	125	562.5	196.875	La mezcla tiene buena consistencia y manejabilidad, el sangrado de agua es mínimo y su fraguado es normal
4	100	125	562.5	220.5	La mezcla es líquida y su proceso de fraguado es bueno pero presenta sangrado en el molde
5	100	125	562.5	236.25	La mezcla es líquida y su proceso de fraguado es lento además de presentar mucho sangrado en los moldes

Con las proporciones que se hicieron se quiso lograr tres cubos de cada mezcla, pero de la mezcla uno no se vació al molde por ser una mezcla que no se podía trabajar, por lo que sólo se logró sacar 12 cubos.

En las mezclas dos y tres se observó una textura bastante uniforme en los cubos, en la mezcla tres se observó una mejor manejabilidad que en la mezcla dos por lo tanto es la proporción que se toma para trabajar para las muestras base.

A demás de las muestras base esa proporción sirvió para realizar las muestras que se sometieron a la inmersión al cloruro de sodio con y sin recubrimiento, utilizando el mismo tiempo de elaboración de las muestras.

Se procedió a la elaboración de las demás muestras utilizando el mismo procedimiento de las muestras base con los proporcionamiento de la muestra número tres mencionada en la tabla 7.1.

Se elaboran tres especímenes por cada fecha que se tiene destinado retirar las muestras del cloruro de sodio las cuales son a 3, 7, 14 y 28 días.

Al terminar la elaboración de las muestras se dejan reposar en el cuarto húmedo para su curado hasta que cumplieron con la fecha de su ensaye como se muestra en la figura 7.7.

Marcamos las muestras de manera que no se afecto ninguna de las caras de la muestra ni con algún material que afecte sus propiedades, para poder identificarlas al momento de su ensaye.



Figura 7.7 Muestras reposando en el cuarto húmedo para su curado

7.2 Elaboración del cloruro de sodio

Se buscó encontrar un recipiente o una tina con el tamaño suficiente para introducir los especímenes, en este caso utilizamos dos cubetas de 20 litros. Se utilizaron dos para separar las muestras que van recubiertas y las que no cuentan con el aditivo protector.

Se revisó que las cubetas estén limpias para no alterar las muestras ni el cloruro de sodio.

La proporción que se requiere tener es la de un cloruro de sodio al 10% es por esto que en cada cubeta se vertió un kilogramo de sal de grano por cada diez kilogramos de agua que vaciamos.

7.3 Recubrimiento de las muestras

Al transcurrir el tiempo de curado de las muestras de 3, 7, 14 y 28 días se retiraron del cuarto húmedo y se dejaron secar por un periodo no mayor a 4 h para que el aditivo protector tuviera una mayor adherencia a las paredes de la muestra.

Posterior al secado se utilizó una brocha de una pulgada de ancho y por el método de uso de brochas y rodillos cubriendo la superficie de las 6 caras de las muestras con el pegatirol y dejando reposar para su secado.

7.4 Inmersión al Cloruro de sodio

Al transcurrir el tiempo de curado se tomaron las muestras a 3, 7, 14 y 28 días según correspondía y se sumergieron en la cubeta que contiene el cloruro de sodio.

Se utilizaron dos cubetas una para las muestras a las que se les aplicó el recubrimiento y la otra para las que no están cubiertas con el aditivo protector.

Se dejaron reposar durante 28 días en el cloruro de sodio como se muestra en la figura 7.8 para proceder a su ensaye.



Figura 7.8 Muestras sumergidas en el cloruro de sodio.

Capítulo VIII “Reglamentos”

El índice de resistencia generalmente aceptado es la resistencia a compresión, obtenida según la NMX-C-061 mediante el ensaye de muestras cúbicas de 5 cm de lado.

Las propiedades mecánicas de los morteros son muy variables y dependen principalmente del tipo de cementante utilizado y de la relación arena/cementante. Los morteros a base de cal, son de baja resistencia a compresión, del orden de 1 a 10 kg/cm², por lo cual en las NTCM se descarta el uso de la cal como único cementante del mortero en elementos que tengan función estructural. Según dichas normas, todo mortero deberá tener cemento hidráulico. Las mezclas que se obtienen son muy trabajables, de fraguado lento y con buena retención de agua. El fraguado lento es favorable ya que permite preparar una mezcla para toda una jornada de trabajo, sin embargo una desventaja importante se refiere a que la resistencia de la mampostería se desarrolla lentamente. (Normas Técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de mampostería)

Para fines estructurales, la relación arena a cementante recomendable debe estar entre 2.25 y 3 ya que se obtienen así mezclas de buena resistencia, buena adherencia con la piedra y baja contracción. La variabilidad en la resistencia que se obtiene para un proporcionamiento dado es considerable, debido a que la dosificación se hace por volumen y sin controlar la cantidad de agua. El coeficiente de variación se encuentra entre 20 y 30%.

Diversas investigaciones han demostrado que la adherencia entre el mortero y las piezas de mampostería es de naturaleza mecánica. Cuando el mortero se pone en contacto con la pieza de mampostería, ésta succiona lechada que penetra por los poros capilares de la pieza, que al cristalizar forma la trabazón mecánica, que es la base de la adhesión entre ambos elementos. Este fenómeno será incrementado tanto por el aumento de la rugosidad superficial en la cara de asiento de la unidad, como por

la presencia de cavidades o alvéolos en la misma cara. Con excepción de morteros extremadamente débiles, las propiedades mecánicas del mortero que más influyen en el comportamiento estructural de un elemento de mampostería, son su deformabilidad y su adherencia con las piezas; de la primera propiedad dependen en gran medida las deformaciones totales del elemento de mampostería y en parte su resistencia a carga vertical; la adherencia entre el mortero y las piezas define en muchos tipos de mampostería (sobre todo en aquellos en que las piezas son muy resistentes) la resistencia por cortante del elemento.

Es importante también que el mortero tenga una manejabilidad adecuada para que pueda ser colocado en capas uniformes sobre las que asienten bien las piezas, evitándose concentraciones de esfuerzos y excentricidades accidentales. La resistencia a compresión del mortero no tiene, dentro de un intervalo bastante amplio, una influencia preponderante en el comportamiento estructural de la mampostería; sin embargo, el control de calidad del mortero se basa en la determinación de esta propiedad a través del ensaye de cubos de 5 cm de lado. La razón de esta elección estriba en la facilidad de la prueba y en el hecho de que muchas otras propiedades (como por ejemplo su adherencia, su módulo de elasticidad y su resistencia a la tensión) pueden relacionarse en forma indirecta con la resistencia a compresión.

La formulación del mortero para pegar piezas está basada en la especificación de mortero tipo I dada en las Normas Técnicas Complementarias Para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería (NTCM) del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (sección 2.5, GDF, 2002) y en la especificación ASTM C-207 de mortero tipo "S".

Se utiliza un mortero cuyas proporciones en volumen son cemento-cal arena 1 :1/2: 4 que da una proporción de arena/suma de aglomerantes de 2.67 ($2.25 < 2.67 < 3$) la cual está dentro del rango admisible.

8.1 Normas para la cal hidratada

En la elaboración de morteros se podrá usar cal hidratada que cumpla con los requisitos especificados en la norma NMX-C-003-ONNCCE.

8.2 Resistencia a la compresión

La resistencia a compresión del mortero, sea para pegar piezas o de relleno, se determinará de acuerdo con el ensaye especificado en la norma NMX-C-061-ONNCCE.

Para diseño, se empleará un valor de la resistencia, f_j^* , determinado como el que es alcanzado por lo menos por el 98 por ciento de las muestras. La resistencia de diseño se calculará a partir de muestras del mortero, para pegar piezas o de relleno, o del concreto de relleno por utilizar.

Para el mortero, se obtendrán como mínimo tres muestras, cada una de al menos tres probetas cúbicas. Las nueve probetas se ensayarán siguiendo la norma NMX-C-061-ONNCCE.

La resistencia de diseño será:

$$f_j^* = \frac{\overline{f_j}}{1 + 2.5 c_j}$$

Donde:

f_j^* Resistencia de diseño a compresión de mortero o de cilindros de concreto de relleno, MPa (kg/cm²)

$\overline{f_j}$ Media de la resistencia a compresión de cubos de mortero o de cilindros de concreto de relleno; y

c_j coeficiente de variación de la resistencia a compresión del mortero o del concreto de relleno, que en ningún caso se tomará menor que 0.2

8.3 Morteros para pegar piezas

Los morteros que se empleen en elementos estructurales de mampostería deberán cumplir con los requisitos siguientes:

- Su resistencia a compresión será por lo menos de 4 MPa (40 kg/cm²).
- Siempre deberán contener cemento en la cantidad mínima indicada en la tabla 6.1.
- La relación volumétrica entre la arena y la suma de cementantes se encontrará entre 2.25 y 3. El volumen de arena se medirá en estado suelto.
- Se empleará la mínima cantidad de agua que dé como resultado un mortero fácilmente trabajable.

Si el mortero incluye cemento de albañilería, la cantidad máxima de éste, a usar en combinación con cemento, será la indicada en la tabla 6.1.

Capítulo IX “Análisis de resultados”

En este capítulo se realizó el análisis de los resultados obtenidos, en el cual se ve la resistencia a la compresión de morteros de albañilería elaborados con distintos tipos de cal.

Muestras base de mortero Cemento-Cal-Arena

Tabla 9.1 Proporcionamiento de los materiales para el mortero.

Mortero con Cal del Valle (I)			Mortero con Cal La Santa Cruz (II)		
Agregado	Volumen (ml)	Peso (gr)	Agregado	Volumen (ml)	Peso (gr)
Cemento	400	401.3	Cemento	400	399.2
Cal	500	312.3	Cal	500	298.4
Arena	2250	2315.2	Arena	2250	2330.1
Agua (25%)	787.5	787.5	Agua (25%)	787.5	787.5

Tabla 9.2 Proporcionamiento de los materiales para el mortero.

Mortero con Cal Los Arcos (III)			Mortero con Cal Expocal (IV)		
Agregado	Volumen (ml)	Peso (gr)	Agregado	Volumen (ml)	Peso (gr)
Cemento	400	400.2	Cemento	400	399.8
Cal	500	298	Cal	500	275.2
Arena	2250	2289.4	Arena	2250	2276.3
Agua (25%)	787.5	787.5	Agua (25%)	787.5	724.5

A partir de las tablas 9.1 y 9.2 podemos ver que se utilizaron los proporcionamientos de la mezcla número tres incluida en la tabla 7.1 la cual fue utilizada tanto como en las muestras base así como en los especímenes sometidos al cloruro de sodio.

En la tabla 9.3 se muestra un resumen de los datos obtenidos en las pruebas de resistencia a la compresión a las muestras base, elaboradas a partir del mortero con la Cal del Valle. Se puede observar que el mortero alcanza y supera el valor mínimo de la resistencia a compresión de 40 kg/cm^2 para un mortero para pegar piezas tipo III.

Su resistencia va aumentando gradualmente a los 7 y 14 días de edad hasta superar la resistencia mínima por el doble, al transcurrir los 28 días de edad.

Tabla 9.3. Muestras base con Cal del Valle.

Mortero con Cal del Valle (I) resistencias en kg/cm²				
Muestra	3 días	7 días	14 días	28 días
A	48.4	54	54	72
B	51.2	58	62	74
C	54	62	64	88
Promedio	51.2	58	60	78

Con los resultados obtenidos podemos ver que el mortero alcanza y supera la resistencia nominal en compresión mínima de 40 kg/cm² para un mortero para pegar piezas del tipo III. Su

Su resistencia va aumentando gradualmente a los 7 y 14 días de edad hasta casi superar la resistencia mínima por el doble al transcurrir los 28 días de edad.

En la tabla 9.4 se muestra un resumen de los datos obtenidos en las pruebas de resistencia a la compresión a las muestras base, elaboradas a partir del mortero con la Cal La Santa Cruz.

Tabla 9.4. Muestras base con Cal la Santa Cruz.

Mortero con Cal La Santa Cruz (II) resistencias en kg/cm²				
Muestra	3 días	7 días	14 días	28 días
A	42	52	74	80
B	46	52	80	88
C	46	54	80	90
Promedio	44.7	52.7	78	86

A partir de los valores arrojados con las pruebas podemos ver que los morteros elaborados a base de la Cal Santa Cruz tienen muy baja resistencia a los 3 días de edad sin embargo; supera el valor mínimo de 40 kg/cm².

Es importante señalar como los resultados muestran que estos morteros base alcanzan casi por completo su máxima resistencia a más temprana edad que es de 14

días. Al alcanzar los 28 días el promedio de las resistencias supera por más del doble el valor mínimo.

Se puede recomendar totalmente el empleo de la cal Santa Cruz para la elaboración de morteros para pegar piezas ya que alcanza valores altos desde los 14 días de su elaboración.

En la tabla 9.5 se muestra un resumen de los datos obtenidos en las pruebas de resistencia a la compresión a las muestras base, elaboradas a partir del mortero con la Cal Los Arcos.

Tabla 9.5. Muestras base con Cal los Arcos.

Mortero con Cal Los Arcos (III) resistencias en kg/cm²				
Muestra	3 días	7 días	14 días	28 días
A	44	52	65.2	83.2
B	47	54	67.2	87.2
C	47	56	68.4	88
Promedio	46	54	66.9	86.1

Las muestras que se hicieron con la Cal los Arcos alcanzan resultados bastante buenos al cumplir los 28 días de edad, a demás presentan un comportamiento más regular ya que su resistencia va aumentando gradualmente y no tan variado como las anteriores.

Comienza superando el valor mínimo a la edad de tres días hasta casi duplicar su resistencia cuando alcanza la edad de 28 días.

En la tabla 9.6 se muestra un resumen de los datos obtenidos en las pruebas de resistencia a la compresión a las muestras base, elaboradas a partir del mortero con la Cal Export.

Tabla 9.6. Muestras base con Cal Export.

Mortero con Cal Export (IV) resistencias en kg/cm²				
Muestra	3 días	7 días	14 días	28 días
A	54	59.2	66.8	78
B	54	60.8	68.4	81.2
C	55.2	62	70	83.2
Promedio	54.4	60.7	68.4	80.8

Con los resultados que obtuvimos a partir de los especímenes elaborados con la cal Export, presentan una resistencia mayor a una edad más temprana.

Es la marca que alcanza una alta resistencia desde los 3 días. Es recomendable utilizar esta marca cuando necesitemos el empleo de un mortero el cual queramos que tenga una resistencia alta desde los primeros días de su elaboración.

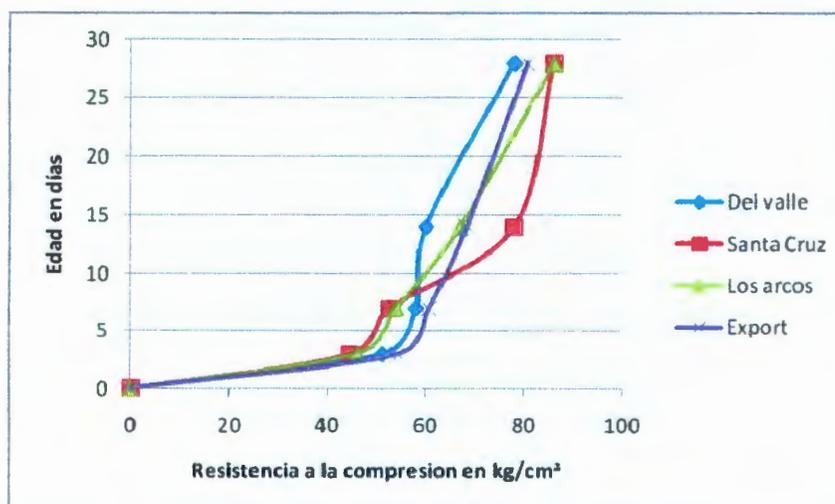
De lo anterior se obtuvo la tabla 9.7 de las muestras base

Tabla 9.7. Resistencia promedio a la compresión de las muestras base.

Edad	I	II	III	IV
3	51.2	44.7	46.0	54.4
7	58	52.7	54.0	60.7
14	60	78.0	66.9	68.4
28	78	86.0	86.1	80.8

Podemos observar que las muestras base elaboradas con las distintas marcas de cal arrojan resultados muy similares superando la resistencia mínima de 40 kg/cm^2 a los 3 días de edad hasta llegar a un promedio de 80 kg/cm^2 .

En la gráfica 9.1 se muestra la resistencia a compresión de las muestras base elaborada con las 4 distintas marcas de cal.



Gráfica 9.1. Resistencia a la compresión de las muestras base.

Se puede observar como los valores varían mucho a los 7 y 14 días de edad, sin embargo; todas superan el valor mínimo de los 40 kg/cm² a partir de los tres días de edad y llegan a un valor promedio que ondula los 80 kg/cm².

La cal Los Arcos y La cal Export son las que cuentan con un comportamiento más regular ya que su aumento en la resistencia nominal a compresión ya que va incrementándose gradualmente.

En la grafica podemos ver la cal Santa Cruz tiene un comportamiento pobre, pero cumpliendo con el mínimo, a los 3 y 7 días de edad, sin embargo; su resistencia incrementa notablemente desde los 14 días de edad alcanzando los valores más altos en la gráfica.

Después de haber realizado los ensayos a compresión de las muestras base se capturaron los resultados para ver la manera en la que afecta el cloruro de sodio a las muestras de mortero.

En la tabla 9.8 se muestra un resumen de los datos obtenidos en las pruebas de resistencia a la compresión a las muestras sumergidas al cloruro de sodio, elaboradas a partir del mortero con la Cal Del Valle.

Tabla 9.8. Muestras de cal del valle sometidas al cloruro de sodio.

Mortero con Cal del Valle (Tipo I) Sumergidos en cloruro de sodio				
resistencias en kg/cm²				
Muestra	3 días	7 días	14 días	28 días
A	34	34.8	41.2	41.6
B	39.2	37.6	46.4	42.4
C	37.6	40.8	49.2	50
Promedio	36.9	37.7	45.6	44.7

Al hacer la comparación de la tabla 9.7. con la tabla 9.8. Se puede observar claramente que al sumergir las muestras en el cloruro de sodio durante un periodo de 28 días cuando las muestras solo han cumplido los 3 y 7 días de edad ya que no cumplen con la resistencia mínima de 40 kg/cm².

Cuando las muestras se sumergieron a una edad a partir de los 14 días alcanzaron la resistencia mínima sin embargo la resistencia se mantiene casi sin variaciones.

A partir de los resultados obtenidos podemos decir que no es muy recomendable elaborar un mortero con cal del valle el cual este expuesto a abrasión desde los primeros días de edad.

En la tabla 9.9 se muestra un resumen de los datos obtenidos en las pruebas de resistencia a la compresión a las muestras sumergidas al cloruro de sodio, elaboradas a partir del mortero con la Cal Santa Cruz.

Tabla 9.9. Muestras de Cal Santa Cruz sometidas al cloruro de sodio.

Mortero con Cal Santa Cruz (Tipo II) Sumergidos en cloruro de sodio				
resistencias en kg/cm²				
Muestra	3 días	7 días	14 días	28 días
A	37.2	42.4	48.8	50.8
B	39.2	41.6	56.4	51.2
C	40.8	54	69.2	53.6
Promedio	39.1	46.0	58.1	51.9

De igual manera hacemos la comparación con la tabla 9.7 y podemos observar que la Cal Santa Cruz presenta una mayor Resistencia desde que se sumerge en cloruro de sodio durante 28 días, a partir de que ha cumplido los 7 días de edad ya que su resistencia promedio es de 46 kg/cm² y llega a incrementar hasta los 58 kg/cm² cuando se sumergen a los 14 días de edad.

En la tabla 9.10 se muestra un resumen de los datos obtenidos en las pruebas de resistencia a la compresión a las muestras sumergidas al cloruro de sodio, elaboradas a partir del mortero con la Cal Los Arcos.

Tabla 9.10. Muestras de Cal Los Arcos sometidas al cloruro de sodio.

Mortero con Cal Los Arcos (Tipo III) Sumergidos en cloruro de sodio resistencias en kg/cm²				
Muestra	3 días	7 días	14 días	28 días
A	43.2	54.4	51.2	66.8
B	47.2	59.6	59.6	68.8
C	49.2	60	71.6	76.8
Promedio	46.5	58	60.8	70.8

Las muestras que se realizaron con Cal los Arcos fueron afectadas por el cloruro de sodio, sin embargo; es muy poca la diferencia con los resultados en las pruebas de resistencia a compresión con las muestras base. Incluso la resistencia de las muestras que se sumergieron por 4 semanas, a los 14 días de edad es mayor que la de las muestras base cuando tiene los 14 días de edad. Esto se puede deber a que el cloruro de sodio no afecta tanto al mortero a base de cal los Arcos a demás de que el tiempo de 28 días en la cubeta le ayuda a alcanzar una mayor resistencia.

Se puede sugerir el uso de Cal los Arcos en morteros para pegar piezas que estén expuestos a cloruro de sodio ya que desde la edad de 3 días de edad superan el valor mínimo de la resistencia a la compresión.

A demás la resistencia a la compresión tiene un aumento con el pasar de los días y muestra un comportamiento muy regular.

En la tabla 9.11 se muestra un resumen de los datos obtenidos en las pruebas de resistencia a la compresión a las muestras sumergidas al cloruro de sodio, elaboradas a partir del mortero con la Cal Export.

Tabla 9.11. Muestras de Cal Export sometidas al cloruro de sodio.

Mortero con Cal Export (Tipo IV) Sumergidos en cloruro de sodio resistencias en kg/cm²				
Muestra	3 días	7 días	14 días	28 días
A	49.6	60.4	50	68.8
B	52.4	60.4	55.2	72
C	55.2	60.8	57.2	75.2
Promedio	52.4	60.5	54.1	72

Las muestras de mortero que se elaboraron con cal Export son las que arrojan mejores resultados en las pruebas de resistencia a compresión después de ser sumergidas.

Desde los tres días de edad y se sumergen al cloruro, las muestras superan la resistencia mínima de 40 kg/cm².

El comportamiento no es muy regular ya que las muestras que se sumergieron al cumplir los 14 días de edad muestran una disminución en su resistencia sin embargo, podemos observar que las muestras que se introducen en el cloruro al cumplir los 28 días de edad alcanzan una resistencia bastante aceptable.

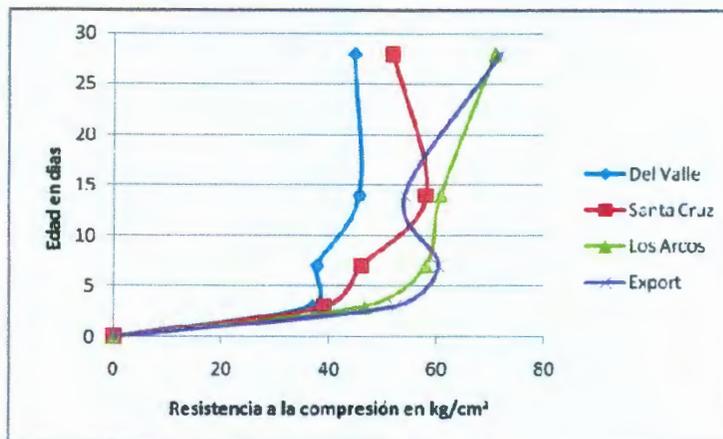
De todo lo anterior se obtuvo la tabla 9.12.

Tabla 9.12. Resistencia promedio a la compresión de las muestras sometidas al cloruro de sodio.

Edad	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo IV
3	36.9	39.1	46.5	52.4
7	37.7	46.0	58.0	60.5
14	45.6	58.1	60.8	54.1
28	44.7	51.9	70.8	72.0

En la tabla 9.12 podemos observar que hay una gran diferencia entre los morteros que se elaboran con cal Export y los que se elaboran a base de Cal del Valle. Ya que la cal Export supera la resistencia mínima al ser sumergidos a los tres días de edad y la cal del Valle necesita de más tiempo para alcanzar dichos resultados.

En la gráfica 9.2 se muestra la resistencia a compresión de las muestras sometidas al cloruro de sodio.



Gráfica 9.2. Resistencia a la compresión de las muestras sometidas al cloruro de sodio.

Con la gráfica 9.2 podemos ver claramente como los especímenes elaborados a base de cal del Valle presentan resultados muy bajos a comparación de las demás marcas.

El mortero elaborado con Cal Santa Cruz tiene un comportamiento poco regular ya que a los hasta los 14 días de edad presenta un comportamiento regular y posteriormente disminuye su resistencia. Es puede ser debido a que el cloruro de sodio afecta de una manera más grave a sus partículas.

Posterior al Ensaye de las muestras que se someten al cloruro de sodio se realizaron los especímenes que se cubren con el aditivo protector y a continuación se presentan los resultados obtenidos.

En la tabla 9.13 se muestra un resumen de los datos obtenidos en las pruebas de resistencia a la compresión a las muestras recubiertas, sumergidas al cloruro de sodio, elaboradas a partir del mortero con la Cal Del Valle.

Tabla 9.13. Muestras de cal del valle recubiertas, sometidas al cloruro de sodio.

Mortero con Cal del Valle (Tipo I) Sumergidos en cloruro de sodio resistencias en kg/cm² (con recubrimiento)				
Muestra	3 días	7 días	14 días	28 días
A	49.2	54	48.8	64
B	50.8	59.2	53.2	64.4
C	56	65.6	57.6	65.2
Promedio	52	59.6	53.2	64.5

Al comparar esta tabla con la tabla 9.8 podemos ver como el aditivo protector ayuda a aumentar la resistencia al proteger las muestras del daño ocasionado por el cloruro de sodio.

Los especímenes alcanzan la resistencia mínima cuando se hacen las pruebas al cumplirse los 28 días inmersos en cloruro de sodio desde los 3 días de edad.

En la tabla 9.14 se muestra un resumen de los datos obtenidos en las pruebas de resistencia a la compresión a las muestras recubiertas, sumergidas al cloruro de sodio, elaboradas a partir del mortero con la Cal Santa Cruz.

Tabla 9.14. Muestras de Cal Santa Cruz recubiertas, sometidas al cloruro de sodio.

Mortero con Cal Santa Cruz (Tipo II) Sumergidos en cloruro de sodio resistencias en kg/cm² (con recubrimiento)				
Muestra	3 días	7 días	14 días	28 días
A	46.8	54.8	45.2	60.4
B	51.2	56.4	51.2	61.6
C	52.4	61.2	53.2	63.6
Promedio	50.1	57.5	49.9	61.9

De igual manera el Recubrimiento orgánico que se le aplica a las muestras es de gran ayuda ya que sirve para que logran superar el valor mínimo de resistencia a la compresión para morteros para pegar piezas tipo III.

En la tabla 9.15 se muestra un resumen de los datos obtenidos en las pruebas de resistencia a la compresión a las muestras recubiertas, sumergidas al cloruro de sodio, elaboradas a partir del mortero con la Cal Los Arcos.

Tabla 9.15. Muestras de Cal Los Arcos recubiertas, sometidas al cloruro de sodio.

Mortero con Cal Los Arcos (Tipo III) Sumergidos en cloruro de sodio resistencias en kg/cm² (con recubrimiento)				
Muestra	3 días	7 días	14 días	28 días
A	62	64.4	40.4	67.2
B	63.2	70.8	50.4	80
C	65.2	72	57.2	83.6
Promedio	63.5	69.1	49.3	76.9

Con los resultados obtenidos podemos ver que el aditivo protector es de gran ayuda, sin embargo; cuando los especímenes tienen 14 días de edad y se sumergen

al cloruro de sodio, tiene una disminución notable en su resistencia a compresión en comparación con las muestras base e incluso con las muestras que se someten al cloruro de sodio y que no cuentan con el recubrimiento.

Esto se puede deber a que el aditivo no permite que las muestras se sigan hidratando como deberían.

Podemos ver que cuando el mortero tiene un mejor comportamiento cuando se expone al cloruro de sodio al haber transcurrido los 28 días de edad, esto puede ser debido a la que muestra alcanzó casi por completo su resistencia máxima y el aditivo la protege de la abrasión.

En la tabla 9.16 se muestra un resumen de los datos obtenidos en las pruebas de resistencia a la compresión a las muestras recubiertas, sumergidas al cloruro de sodio, elaboradas a partir del mortero con la Cal Export.

Tabla 9.16. Muestras de Cal Export recubiertas, sometidas al cloruro de sodio.

Mortero con Cal Export (Tipo IV) Sumergidos en cloruro de sodio resistencias en kg/cm² (con recubrimiento)				
Muestra	3 días	7 días	14 días	28 días
A	58.4	76.8	61.2	75.6
B	63.2	69.2	65.2	79.2
C	64	69.6	68.4	80
Promedio	61.9	71.9	64.9	78.3

De igual manera que con los morteros elaborados con las otras marcas, la cal Export no fue la excepción. En las muestras que se sumergen a los 14 días de edad, se refleja una afectación en resistencia a la compresión.

A pesar de que la mezcla a base de la cal Export disminuye su resistencia, es la marca que presenta los valores más altos en resistencia a compresión.

De los valores anteriores se obtuvo la tabla 9.17.

Tabla 9.17. Resistencia promedio a compresión de las muestras recubiertas sometidas al cloruro de sodio.

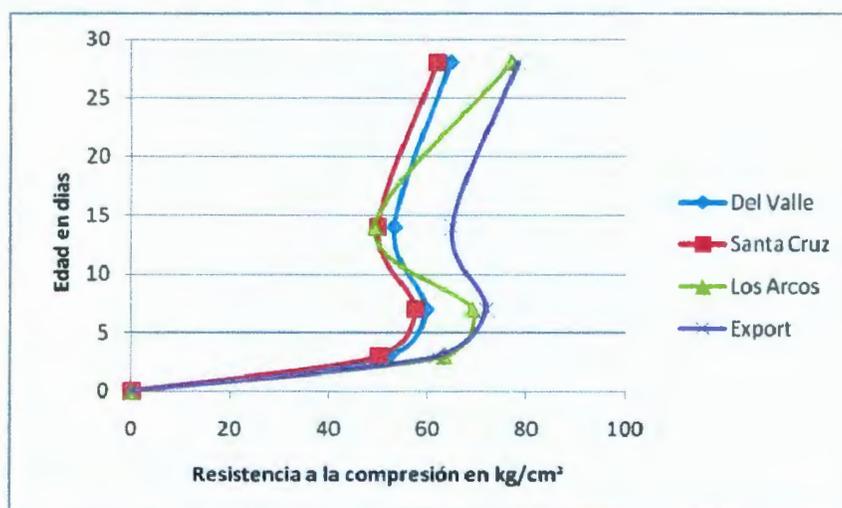
Edad	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo IV
3	52.0	50.1	63.5	61.9
7	59.6	57.5	69.1	71.9
14	53.2	49.9	49.3	64.9
28	64.5	61.9	76.9	78.3

Con la tabla anterior se puede ver claramente que las 4 marcas de cal presentan una disminución notable cuando son sometidos al cloruro a los 14 días de edad.

Podemos ver que a pesar de que se sometan a la abrasión desde los tres días de edad, los especímenes cumplen con el valor mínimo de resistencia a compresión.

Los resultados arrojan tanto en la tabla 9.12. así como en la tabla 9.17. la mezcla que contiene cal Export ya sea con aditivo protector o sin él, presentan los resultados más altos en las pruebas a compresión.

En la gráfica 9.3 se muestra la resistencia a compresión de las muestras recubiertas sometidas al cloruro de sodio.

**Gráfica 9.3. Resistencia a compresión de las muestras recubiertas sometidas al cloruro de sodio.**

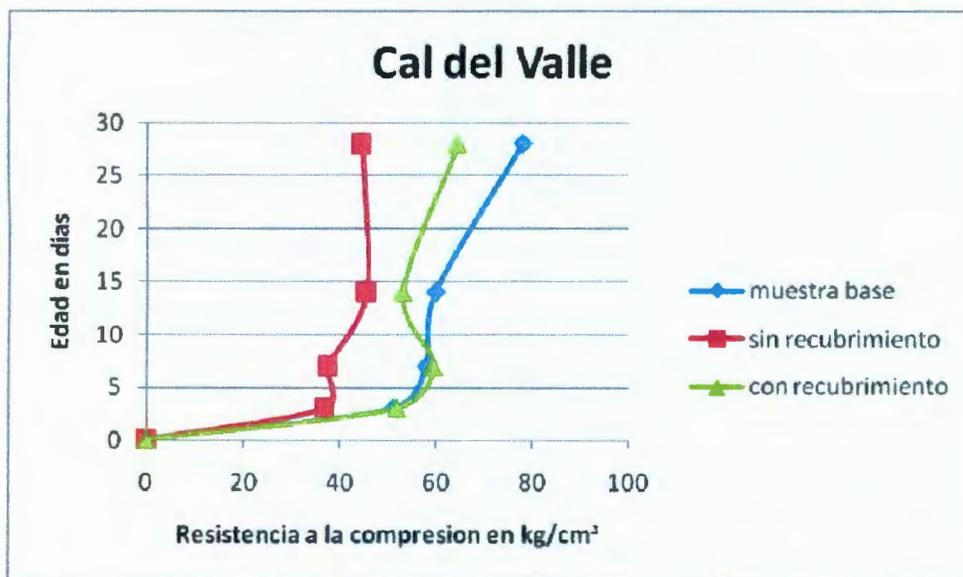
Una vez más podemos ver que la cal del Valle y la cal Santa Cruz presentan un comportamiento similar, tal y como lo hacen la cal los Arcos y la cal Export.

Las muestras hechas a base de Cal los Arcos sometidas al cloruro de Sodio a los 14 días de edad tienen una baja muy notable este cambio se puede deber a una posible falta de hidratación debida a que el aditivo protector.

A pesar de las bajas en la resistencia. Podemos ver que si las mezclas se hidratan bien durante el periodo de los 28 días y se aplica el recubrimiento orgánico se obtienen valores altos con respecto al mínimo.

A continuación se presentan las graficas en donde se muestran los valores de la resistencia a compresión de las muestras elaboradas con cada una de las marcas de cal mostrando los valores base, la resistencia cuando se someten al cloruro de sodio con aditivo protector y sin él.

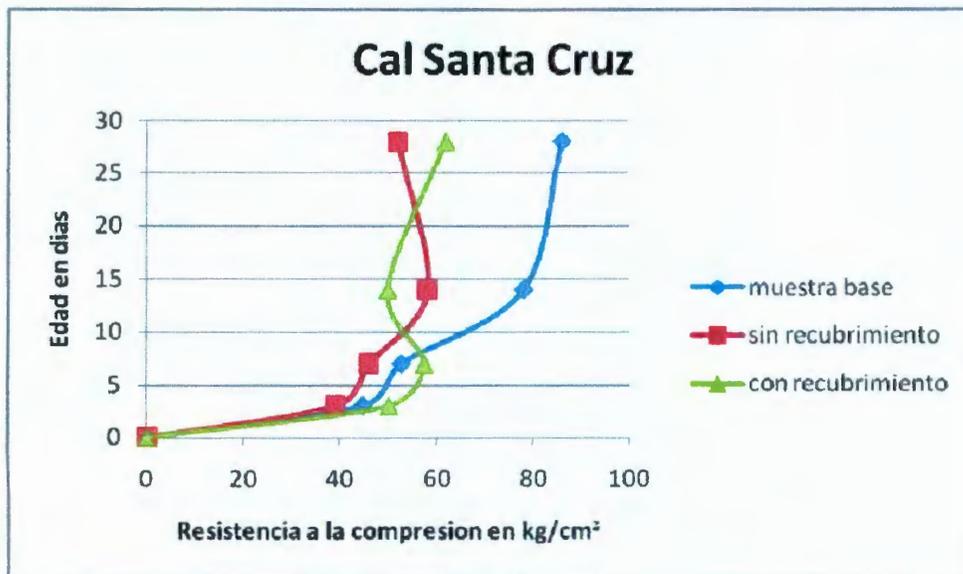
Comportamiento del mortero elaborado con cal del Valle en las tres diferentes pruebas.



Gráfica 9.4. Comportamiento de la Cal del Valle en las tres distintas pruebas realizadas.

Podemos ver claramente que las muestras que se someten al cloruro de sodio y no se le aplica un recubrimiento se ven afectadas gravemente ya que se alejan mucho de los resultados que arrojan las muestras base.

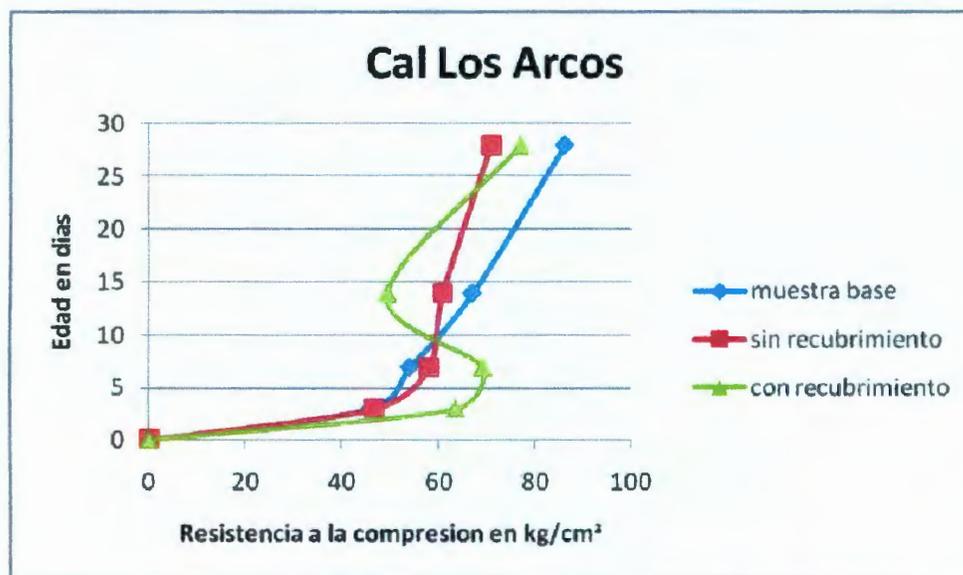
Comportamiento del mortero elaborado con la Cal Santa Cruz en las tres diferentes pruebas.



Gráfica 9.5 Comportamiento de la Cal Santa Cruz en las tres distintas pruebas realizadas.

Los especímenes elaborados con la cal del Valle superan el valor mínimo de los 40 kg/cm². Sin embargo cuando las muestras se someten a cloruro de sodio ya se muestran con aditivo protector y sin él se alejan mucho de los resultados de las muestras base sometidas a las pruebas de compresión.

Comportamiento del mortero elaborado con la Cal Los Arcos en las tres diferentes pruebas.



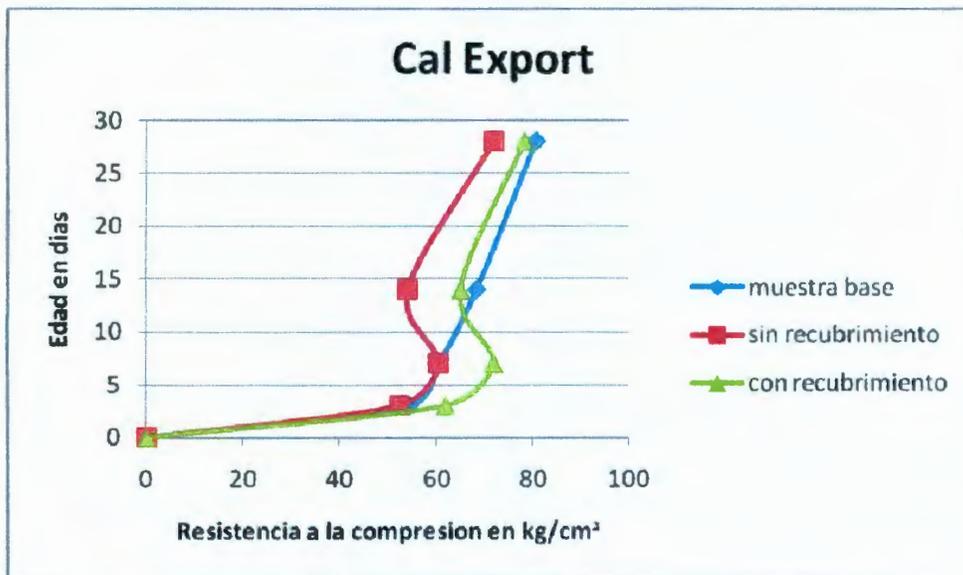
Gráfica 9.6. Comportamiento de la Cal Los Arcos en las tres distintas pruebas realizadas.

Cuando se emplea cal los Arcos en los morteros podemos ver que presenta una buena resistencia a la abrasión al cloruro de sodio.

Se puede ver cómo a pesar de que se someten al cloruro de sodio los valores no se alejan mucho de los de las muestras base.

Es muy claro como la resistencia Baja bastante cuando se ensaya una muestra a base de cal los arcos que permanece sumergida en cloruro de sodio de sodio durante un periodo de 4 semanas desde los 14 días de edad, como se comento anteriormente esto puede se debido a una posible falta de hidratación causada por parte del aditivo protector.

Comportamiento del mortero elaborado con la Cal Export en las tres diferentes pruebas.



Gráfica 9.7. Comportamiento de la Cal Export en las tres distintas pruebas realizadas.

Con ayuda de la gráfica 9.7 podemos ver que la mezcla de cal Export es la que tiene los mejores resultados y un comportamiento mucho más regular que las demás marcas.

Es muy recomendable el uso de la cal Export en la elaboración de morteros para pegar piezas de tipo III cuando éste pueda estar expuesto a la abrasión del cloruro de sodio ya sea con o sin el recubrimiento orgánico.

Conclusiones y Recomendaciones

- Con las pruebas que realizamos de mortero Cemento – Cal – Arena pudimos ver que la resistencia a la compresión que presentan los distintos tipos de cal de la región son muy similares y todas superan la resistencia mínima de 40 kg/cm^2 que deben de tener especificado en la norma NMX-C-061-ONNCCE para morteros de albañilería de tipo III según las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción para Estructuras de Mampostería del Distrito Federal.
- Como se puede observar en la tabla 9.7 y en la grafica 9.1 la cal Santa Cruz y la Cal los Arcos presentan una resistencia de 86 kg/cm^2 al transcurrir los 28 días de fraguado, sin embargo, en las muestras elaboradas con el mortero a base de la cal Santa Cruz presenta una mayor resistencia que los demás a partir de los 14 días, y los demás necesitan de los 28 días para encontrar su máximo valor.
- Con ayuda de la tabla 9.12 y la gráfica 9.2 podemos observar que cuando las muestras de mortero están expuestas al cloruro de sodio la resistencia a la compresión se ve afectada considerablemente sin embargo hay dos marcas de cal las cuales muestran una resistencia alta estas son la cal Los Arcos y la cal Export de las cuales la cal Los Arcos tuvo un comportamiento más uniforme durante las diferentes pruebas de 3, 7, 14 y 28 días de ensaye.
- Se puede observar en la gráfica 9.3 el recubrimiento que se les aplico a las muestras ayuda para que no se afecte tanto la resistencia a la compresión, sin embargo dicho recubrimiento no actúa de manera inmediata ya que la resistencia baja notablemente durante el ensaye a 14 días con las cuatro marcas de cal utilizadas y recuperando un poco la resistencia al cumplir los 28 días.
- La muestra de mortero que mejor funciono al aplicarle el recubrimiento fue la que se elaboro con la cal Export.

- Se observan diversas variantes en los resultados arrojados en las pruebas se puede resaltar que la Cal los Arcos es una de las marcas la cual alcanza una de las resistencias más altas en los tres casos que se presentan.
- Se puede mencionar de igual manera que la Cal Export es la que mejor comportamiento tiene cuando está expuesto al cloruro de sodio, y se puede recomendar el uso de la cal Export en la elaboración de morteros de albañilería los cuales puedan estar expuestos a sustancias agresivas como el cloruro de sodio.
- Es importante remarcar que cuando se aplica un aditivo protector a los especímenes de mortero presentan una variación notable cuando se sumergen en cloruro de sodio a los 14 días de edad. Es muy posible que esta variación puede ser provocada por el mismo recubrimiento al no permitir la hidratación de la muestra.

Referencias

- A. G. Guy. Fundamentos de ciencia de materiales, The McGraw-Hill. 1981
- Delatte, N. J. 2001. Lessons from Roman Cement and Concrete. J. Prof. Issues in Engrg. Educ. And Pract., 127(3), 109-115.
- Diccionario enciclopédico popular ilustrado Salvat (1906-1914)
- Feldman Susan R. Sodium chloride. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. John Wiley & Sons, Inc. Published online 2005.
- Garate Rojas, Ignacio, Artes de la Cal, Munilla Leria, España 2002
- Holmes, S.and Wingate, M. 2003 Building with lime, revised edition, Ed. ITDG Publishing, U.K.
- IMCYC Instituto Mexicano del Cemento y Concreto
- Mehta P. Kumar and Monteiro Paulo J. M. Concrete microstructure, properties, and materials. Secon edition, The McGraw-Hill. (1993).
- Neville Adam M. Tecnología del concreto, IMCYC, 1999.
- Manual de Promical, Colombia, 2003
- Normas Técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de mampostería.
- Serrano Gutiérrez Gerardo René M. en I. tesis, Diciembre 2002
- Ficha de datos de seguridad. CNP PM NF (cemento prompt natural), VICAT (2002)
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Cemento>
- http://es.wikipedia.org/wiki/Mortero_de_cal

<http://www.holcim.com/MX/MEX/b/IEW/oid/44186/module/gnm20/jsp/templates/product/product.html>

[http://es.wikipedia.org/wiki/Mortero_\(construcci%C3%B3n\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Mortero_(construcci%C3%B3n))

<http://www.mitecnologico.com/mecatronica/Main/Recubrimiento>.