



Facultad de Ingeniería

Escuela de Construcción Civil

“Morteros de cal y el empleo de catalizadores como aceleradores del desarrollo de su resistencia mecánica”

Por

Jaime Ricardo González Ruiz

“Tesis para optar al Título de Ingeniero Constructor”

Prof. Guía: Juan Egaña.

MAYO, 2016

AGRADECIMIENTOS

A mis padres Jaime González y Gabriela Ruiz por su apoyo incondicional en cada momento de mi vida y brindarme las herramientas necesarias para terminar mi carrera.

A mi familia por siempre creer en mí y ayudarme a ser una mejor persona mejorando a cada día.

A mis amigos y compañeros que son parte importante durante esta etapa de mi vida.

A don Juan Egaña que supo guiarme de la mejor manera con el tema a través de consejos, conocimientos y gran disposición.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a todas las personas que me apoyaron durante todo mi etapa universitaria, en especial a mis padres ya que es el fruto del esfuerzo que hicieron para educarme.

Índice

Índice General

Índice General.....	4
Listado de Tablas.....	7
Listado de figuras	8
CAPITULO I: Generalidades	10
1.1. Introducción.....	10
1.2 Objetivo de la investigación	11
1.2.1 Objetivo general.....	11
1.2.2 Objetivos específicos.	11
1.3 Hipótesis	12
1.4 Diseño de la investigación.....	13
CAPITULO II: BASE TEORICA.	14
2.1. La cal	14
2.1.1 Tipos de Cal.....	14
2.1.2 El uso de la cal en la construcción.....	14
2.2 El Mortero	15
2.3 Mortero de cal.....	15
2.3.1 Tipos de Mortero de Cal	15
2.3.1.1 Morteros de cal viva	15
2.3.1.2 Morteros de cal apagada	16
2.3.1.3 Morteros de cal para revoque.....	16
2.3.1.4 Morteros de cal para estucos.....	16
2.3.2 Ventajas del mortero de cal	16
2.3.3 Experiencias constructivas con Morteros de cal en Chile.	17
2.4 Silicato de sodio	17
2.5 Cloruro de calcio	18
CAPITULO III: PROPIEDADES DE LOS MATERIALES DEL MORTERO DE CAL	19
3.1 Agua	19
3.2 Áridos	19

3.2.1 Granulometría	19
3.3 Otras características del árido fino	21
3.3.1 Densidad aparente suelta según NCh 1116 of 08	21
3.3.2 Densidad real, neta y absorción de agua de las arena según NCh 1239 of 09.....	21
3.3.3 Determinación de huecos según NCh 1326 of 12.....	21
3.4 Cal.....	21
3.5 Silicato de sodio	22
3.6 Cloruro de calcio	22
CAPITULO IV: ENSAYOS UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN	23
4.1 Consideraciones previas.	23
4.2 Confección de probetas según NCh 158	23
4.3 Ensayo de flexión según NCh 158	23
4.3.1 Procedimiento	24
4.4 Ensayo de resistencia a compresión según NCh 158	24
4.4.1 Procedimiento	25
4.5 Ensayo para determinación del desparramado según norma DIN 1048.....	25
4.5.1 Procedimiento	25
4.6 Determinación de la densidad aparente del mortero	26
4.7 Absorción capilar.....	26
4.7.1 Procedimiento	27
4.8 Ensayo de permeabilidad según NCh 2262 of 2009.....	27
4.8.1 Procedimiento	28
CAPITULO V: PROGRAMACIÓN DE LA EXPERIENCIA	29
5.1 Programación de la investigación.....	29
5.1.1 Identificación de dosificaciones.....	29
5.1.2 Ensayos de flexión y compresión.	29
5.1.3 Ensayo de compresión.	29
5.1.4 Ensayo de absorción de agua	30
5.1.5 Ensayo de desparramado	30
5.1.6 Ensayo de permeabilidad	30
5.2 Volumen de cada colada.....	30
CAPITULO VI: FABRICACION DEL MORTERO.....	31

6.1 Mortero	31
6.1.1 Medición de los materiales	31
6.2 Dosificación de morteros	31
6.2.1 Conceptos básicos para la dosificación	31
6.2.1.1 Árido fino.....	31
6.2.1.2 Cantidad de agua del mortero	31
6.3 Ecuación para la dosificación de morteros.	32
6.3.1 Proporciones especificadas en volumen	33
6.4 Incorporación de los aditivos al mortero	34
CAPITULO VII: EVALUACION Y TABULACION DE RESULTADOS	35
7.1 Dosificación para el mortero patrón	35
7.2 Dosificación para mortero con aditivo de cloruro de calcio.....	35
7.3 Dosificación para mortero con aditivo de silicato de sodio.....	35
7.4 Resultado de los ensayo de desparramado según NCh 2257 of 96	36
7.5 Densidad aparente del mortero endurecido sobre 14 días	37
7.6 Resultados ensayo de flexión según NCh 158	39
7.7 Resultados ensayo de compresión según NCh 1037 of 09.....	45
7.8 Resultado ensayo de absorción.....	51
7.9 Análisis de resultados	53
CAPITULO VIII: ANALISIS DE COSTO.....	60
CAPITULO IX: CONCLUSIONES.....	61
Bibliografía.....	62
Normativas utilizadas.	63

Listado de Tablas

Tabla 3.1: Granulometría de la arena	17
Tabla 5.1.1: Identificación de dosificaciones y denominaciones	27
Tabla 5.2: Cantidad de litros a usar por colada	28
Tabla 6.1: Determinación de la dosis de agua y aire de un mortero	30
Tabla 6.2: Peso específicos de los materiales.....	31
Tabla 6.3: Densidades aparentes de los materiales	31
Tabla 7.1: Dosificación mortero patron.....	33
Tabla 7.2: Dosificaciones mortero con cloruro de calcio.....	33
Tabla 7.3: Dosificaciones mortero con silicato de sodio.....	33
Tabla 7.4.1: Resultado de desparramado en centímetros	34
Tabla 7.5.1: Resultado densidad del mortero endurecido a 14 días	35
Tabla 7.6.1: Resultados ensayo de flexión a los 7 días	37
Tabla 7.6.2: Resultados ensayo de flexión a los 14 días	38
Tabla 7.6.3: Resultados ensayo de flexión a los 28 días	40
Tabla 7.6.4: Resultados ensayo de flexión a los 56 días	41
Tabla 7.7.1: Resultados ensayo de compresión a los 7 días	43
Tabla 7.7.2: Resultados ensayo de compresión a los 14 días	44
Tabla 7.7.3: Resultados ensayo de compresión a los 28 días	46
Tabla 7.7.4: Resultados ensayo de compresión a los 56 días	47
Tabla 7.8.1: Resultados ensayo de absorción.....	49
Tabla 8.1: Precios de los materiales	58
Tabla 8.2: Costos directos	58

Listado de figuras

Figura 3.1: Granulometría de la arena	18
Figura 4.1: Máquina Matest-cybercplus	22
Figura 4.2: Mesa de sacudidas	23
Figura 4.3: Probetas para absorción capilar	24
Figura 4.4: Probetas para ensayo de permeabilidad	25
Figura 7.1: Fluidez.....	34
Figura 7.2: Fluidez en %	35
Figura 7.3: Densidad aparente del mortero a los 14 días	36
Figura 7.4: Densidad aparente del mortero a los 14 días en %	36
Figura 7.5: Flexión a los 7 días	37
Figura 7.6: Flexión a los 7 días en %	38
Figura 7.7: Flexión a los 14 días	39
Figura 7.8: Flexión a los 14 días en %	39
Figura 7.9: Flexión a los 28 días	40
Figura 7.10: Flexión a los 28 días en %	41
Figura 7.11: Flexión a los 56 días	42
Figura 7.12: Flexión a los 56 días en %	42
Figura 7.13: Compresión a los 7 días	43
Figura 7.14: Compresión a los 7 días en %	44
Figura 7.15: Compresión a los 14 días	45
Figura 7.16: Compresión a los 14 días en %	45
Figura 7.17: Compresión a los 28 días	46
Figura 7.18: Compresión a los 28 días en %	47
Figura 7.19: Compresión a los 56 días	48
Figura 7.20: Compresión a los 56 días en %	48
Figura 7.21: Absorción a los 28 días	49
Figura 7.22: Absorción a los 28 días en %	50
Figura 7.23: Resistencia a flexión, mortero con cloruro de calcio	52
Figura 7.24: Resistencia a flexión relativa, morteros con cloruro de calcio	53
Figura 7.25: Resistencia a flexión, mortero con silicato de sodio	53

Figura 7.26: Resistencia a flexión relativa, mortero con silicato de sodio	54
Figura 7.27: Resistencia a compresión, mortero con cloruro de calcio	55
Figura 7.28: Resistencia a compresión relativa, morteros con cloruro de calcio	56
Figura 7.29: Resistencia a compresión, mortero con silicato de sodio	56
Figura 7.30: Resistencia a compresión relativa, morteros con silicato de sodio	57

CAPITULO I: Generalidades

El presente capítulo tiene el objetivo de presentar la justificación de la investigación además de sus objetivos y diseño.

1.1. Introducción

El mortero es un material de construcción que se emplea desde mucho antes que el hormigón (González y Velázquez, 2005), pero a diferencia del hormigón, el mortero como material de construcción no ha sido estudiado de manera tan amplia, por lo menos en nuestro país. Sin embargo, en el último tiempo se ha empezado a dar interés a su estudio. (Saavedra, 2012).

Por otro lado la cal, como material de construcción, ha sido conocida y empleada como conglomerante desde que el hombre empezó a construir, subsistiendo hasta nuestro tiempo algunas obras que mantienen sus características de resistencia y de durabilidad (Barba y Córdova, 1999), por lo que no cabe duda que la cal ha demostrado ser un excelente conglomerante que fue empleada en las construcciones hasta que, en los inicios del siglo XVIII, cedió su lugar al entonces nuevo material: el Cemento Portland. (González, 2008)

No obstante las muy buenas propiedades que confiere la cal a los morteros y hormigones, presenta un inconveniente serio que consiste en que la reacción de hidratación se verifica lentamente y, por tanto, las resistencias mecánicas se consiguen en plazos mayores, comparados con las que se logran con los cementos. Este inconveniente significa problemas en los plazos de desmolde, en el avance de las obras y, por tanto en los plazos de ejecución de ellas, lo que redundaría en mayores costos, lo que ha determinado el destierro del empleo de cal en buena parte de las construcciones. (Villaseñor, 2013).

El propósito del tema que se propone apunta a revertir la desventaja señalada mediante la inclusión, en las mezclas, de unos productos catalizadores que se estima acelerarían el desarrollo de las resistencias mecánicas, sin desmedro de otras propiedades del material como lo son la densidad, absorción de agua y permeabilidad. Los productos que se habrán de considerar como alternativos para la experiencia son: Cloruro de Calcio y Silicato de Sodio.

Ambos productos fueron escogidos debido a que son fraguadores de hormigón y se estudiara el efecto de ellos en los morteros de cal.

1.2 Objetivo de la investigación

1.2.1 Objetivo general.

Estudiar el efecto de dos productos catalizadores: Cloruro de calcio y silicato de sodio, sobre el desarrollo de resistencias mecánicas de morteros de cal.

1.2.2 Objetivos específicos.

1. Analizar el comportamiento del desarrollo de resistencias mecánicas del mortero de cal, al emplear adiciones variables de cloruro de cal y de silicato de sodio.
2. Determinar el efecto colateral de las adiciones señaladas, sobre las siguientes propiedades del mortero de cal:
 - Permeabilidad.
 - Absorción de agua – porosidad.
 - Densidad aparente del mortero endurecido.
3. Hacer una estimación en costo del mortero de cal por concepto del empleo de los productos señalados.

1.3 Hipótesis

Durante la investigación previa de la cal como material de construcción se llegó a la conclusión de que es un excelente material de construcción pero se demora mucho en alcanzar su resistencia en comparación al cemento, por lo que se buscó la manera de solucionar esta condición, se llegó a la conclusión de que tendría que ser por medio de aceleradores de resistencias mecánicas pero al no existir aceleradores de cal como tales, se propone utilizar aceleradores de fraguado de hormigón, esperando obtener resultados parecidos por lo que se llegó a la siguiente hipótesis:

“La inclusión de cloruro de calcio o de silicato de sodio como catalizadores en morteros de cal, permite una aceleración del desarrollo de sus resistencias mecánicas, sin desmedro de sus propiedades de permeabilidad, absorción de agua y densidad aparente.”

1.4 Diseño de la investigación

Para la investigación se hará un mortero patrón de dosificación 1:4 (cal, arena), este se seleccionó pensando en su uso como mortero para albañilería, y también se harán 2 morteros más, uno con silicato de sodio y otro con cloruro de calcio, ambos con igual dosificación en cuanto a cal y arena.

Debido a que no existe una norma para morteros de cal, se utilizara la NCh 2256 de requisitos generales del mortero, esto en cuanto a la forma de realizar los ensayos se refiere.

Para el agregado del producto a la mezcla se sugiere los siguientes porcentajes: 0,5%, 1%, 1,5% y 2%. Estos porcentajes fueron seleccionados por recomendación de profesionales del área, tomando en cuenta que una mayor dosis podría afectar propiedades propias de la cal.

Por lo tanto se obtendrán 9 coladas y a cada una de ellas se realizaran ensayos para determinar la variación de las propiedades del mortero de cal:

Al terminar con estos ensayos se realiza una comparación entre los resultados del mortero patrón y los resultados de los morteros con aditivo.

Con ellos se espera poder concluir si existe una aceleración en el tiempo de desarrollo de sus resistencias mecánicas y cuál es el efecto en las otras propiedades del mortero de cal.

CAPITULO II: BASE TEORICA.

El presente capítulo tiene como objetivo definir los principales conceptos que se utilizarán en la investigación.

2.1. La cal

La cal es uno de los productos químicos más versátiles, por lo que sus usos han sido innumerables durante la historia del hombre. Probablemente es el producto de reacción química más antiguo utilizado por el hombre. Numerosas obras arquitectónicas han sido construidas mediante el uso de la cal, como por ejemplo: el Coliseo Romano, la Muralla China que han resistido sin problemas el paso del tiempo.

Proviene de la piedra caliza o carbonato de calcio al igual que el cemento, las principales características de este material es que posee una alta alcalinidad y tiene propiedades aglomerantes.

El proceso de formación de la cal comienza con la calcinación de piedra caliza, esta libera dióxido de carbono y se convierte en cal viva u oxido de calcio, esta cal viva es un producto químicamente inestable que al agregarle agua, en el proceso conocido como hidratación, se convierte en hidróxido de calcio, comúnmente llamada cal apagada, cal aérea o cal hidratada, este proceso de hidratación o apagado es rápido y libera una gran cantidad de calor. La cal apagada al reaccionar con el dióxido de carbono del aire, proceso denominado recarbonatación, vuelve a formar carbonato de calcio adquiriendo las propiedades que poseía originalmente como piedra. (Villaseñor, 2013)

2.1.1 Tipos de Cal

Existen temperaturas límites (900 a 1200°C) en que la cal obtenida posee propiedades esencialmente diferentes. Para 900°C las cales fabricadas poseen facultades de endurecer el aire, por lo cual se llama Cales Aéreas.

Cuando las rocas caliza contiene impurezas y un contenido superior al 5% de arcilla requieren de una temperatura de calcinación de 1200°C de estas forma las cales obtenidas poseen el poder de endurecer bajo agua. Adquieren propiedades hidráulicas.

La cal hidráulica químicamente puede ser clasificada como el intermedio de la cal aérea y el cemento Portland o natural por lo cual no tienen propiedades físicas bien definidas. El mayor problema que controla la cal hidráulica es la falta de uniformidad en el producto terminado. (López, 2008)

2.1.2 El uso de la cal en la construcción

La cal tiene múltiples aplicaciones y usos en la construcción, se ha utilizado tanto para construir, pintar, decorar, tratar suelos y mejorar mezclas asfálticas. Actualmente donde mayor

aplicación tiene la cal es la albañilería en los morteros de junta y su uso se extiende a los estucos.

Las cales encuentran su principal uso en morteros de pega de albañilería y en revestimientos de muro.

Tanto en E.E.U.U. como en los países de la comisión RILEM, se utiliza de preferencia los morteros compuestos por cemento y cal hidráulica.

2.2 El Mortero

Es un compuesto de conglomerantes inorgánicos, áridos y agua, y posibles aditivos que sirven para pegar elementos de construcción tales como: ladrillos, piedras, bloques de hormigón, etc. Además, se usan para rellenar los espacios que quedan entre los bloques y para revestimiento de paredes, existen distintos tipo de mortero y se diferencian en el tipo de aditivo que se le incorpora (Sánchez 2001), como lo pueden ser:

- Morteros de yeso
- Morteros de cal
- Morteros de cemento
- Morteros magros
- Morteros mixtos (En los que se mezclan dos aglomerantes: yeso-cal o cal-cemento)

Debido a que la investigación es sobre los morteros de cal solo se procederá a explicar las propiedades de este tipo de mortero.

2.3 Mortero de cal

Son aquellos morteros que están fabricados con cal, arena y agua, se usan principalmente para exteriores.

2.3.1 Tipos de Mortero de Cal

Existen distintos tipos de cal por lo cual es necesario realizar un desglose de ellas para conocer las diferentes facetas de la cal

2.3.1.1 Morteros de cal viva

En los que la cal pulverizada y tamizada se va colocando en capas alternas con la arena, según la dosificación prevista, para luego proceder al regado de las capas a la vez que se extienden.

2.3.1.2 Morteros de cal apagada

En los que la cal viene dada en forma de lechada o pasta fluida, vertiéndose esta en el centro de un cono de arena. Los morteros de cal apagada son los más apropiados para usar en la últimas capas de los revestimientos ya que endurecen con el paso del tiempo y la intemperie, aunque se les puede haber añadido una pequeña cantidad de cal viva durante su amasado. Si el mortero ha de ser coloreado, se le añade un pigmento, que siempre será a base de tierras naturales, y que se añade en la fase de amasado, y según la calidad y grano de estas tierras y la calidad de ejecución del mortero se distingue entre morteros para revocos o para estucos.

2.3.1.3 Morteros de cal para revoque

En este caso el revoque se forma por varias capas de mortero superpuestas tendidas o proyectadas, sobre un paramento base. Las arenas a utilizar son de cava, de río, o de miga, admitiéndose únicamente el polvo de mármol en la dosificación de la última capa del revestimiento. Se pueden emplear dos tipos de cales para la dosificación de morteros de cal: hidráulica y aérea.

2.3.1.4 Morteros de cal para estucos

Presentan la misma composición que los anteriores, con la salvedad de usar mejores materiales y poner más esmero en la ejecución. Si la cal a utilizar es grasa, esta deberá ser muy blanca, fina y apagada por inmersión. La arena será de mármol blanco o alabastro yesoso.

2.3.2 Ventajas del mortero de cal

Al añadir la cal al mortero aumenta la trabajabilidad, lo que facilita el manejo del albañil permitiendo extender el mortero con mayor facilidad sobre la albañilería o sustrato donde se coloque.

Aumenta la capacidad de retener el agua, lo cual permite complete su hidratación y de esta manera adquiere la resistencia especificada. La mayor retentividad también evita la fisuración del mortero por la acelerada pérdida de agua.

Al tener un menor tamaño de partículas que el cemento, disminuye el tamaño de los poros del mortero, evitando el paso del agua dentro del mortero, lo que disminuye la permeabilidad y eflorescencia de sales minerales en la superficie del muro.

El aumento de la trabajabilidad y retentividad y el menor tamaño de partículas facilitan la introducción del conglomerante en los poros del sustrato, donde se coloque el mortero, de esta forma se hidrata y cristaliza generando el mecanismo de anclaje que origina la adherencia mortero-sustrato.

La cal tiene la capacidad de curar fisuras, ya que el agua al penetrar en una fisura disuelve una pequeña cantidad de calcio que reacciona con el dióxido de carbono de aire formando carbonato de calcio, este compuesto tiene un mayor volumen que el calcio, por lo que tapa las fisuras.

La cal aumenta la capacidad de absorber las deformaciones infringidas al mortero debido a que disminuye la rigidez del mortero, lo cual evita el desprendimiento y/o agrietamiento del mortero.

2.3.3 Experiencias constructivas con Morteros de cal en Chile.

La cal fue el primer material cementante utilizado por las primeras civilizaciones como base para la construcción de grandes edificaciones. En Chile, grandes obras arquitectónicas han sido construidas con este material, la Casa de Moneda, la Catedral de Santiago, la Real Audiencia y el conocido Puente de Cal y Canto, las cuales se han conservado en óptimas condiciones.

2.4 Silicato de sodio

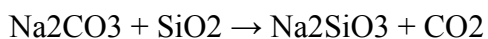
Es también llamado Vidrio Soluble, es fabricado por fusión en horno a 1200° C de ceniza de soda y cuarzo. Este vidrio, tiene la particular característica de ser soluble en agua bajo condiciones de temperatura y presión.

El silicato de sodio puede aplicarse en distintas área como: adhesivos, detergentes, industrial, minería, industria textil, industria de papel y celulosa, industria de pinturas y en construcción y obras civiles, siendo en esta última donde entrega propiedades de acelerador de hormigón y consolidador de suelos.

Cuando los silicatos de sodio son combinados con ingredientes de cemento, reaccionan químicamente para formar masas con fuertes propiedades ligantes. Los silicatos son ingredientes importantes en las especialidades refractarias autofraguantes y morteros químicamente resistentes (Conci F. y Basso A.). Las ventajas de los silicatos solubles como ligantes son:

- Resistencia a la temperatura
- Resistencia a los ácidos
- Resistencia a disolventes después de su uso
- Facilidad de manejo
- Seguridad
- Bajo costo

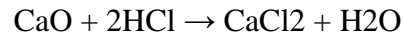
Se forma cuando el carbonato de sodio y el dióxido de silicio reaccionan formando silicato de sodio y dióxido de carbono:



2.5 Cloruro de calcio

Es un líquido de aspecto cristalino no peligroso, que se obtiene por la reacción entre carbonato de calcio y ácido clorhídrico, obteniéndose luego de un proceso de neutralización y filtración.

Su composición química es la siguiente:



El cloruro de calcio tiene distintas aplicaciones como lo son en procesos: agrícolas, refrigerantes, químicos, en la elaboración de alimentos, en la industria papelera y en la construcción (Orobio, 2007). Es en esta última donde se utiliza para:

- La producción de cemento
- Agente acelerador de fraguado de concreto
- Cementación de pozos petroleros
- Agente anti polvo en calles y caminos

CAPITULO III: PROPIEDADES DE LOS MATERIALES DEL MORTERO DE CAL

El presente capítulo, expone los principales aspectos de los principales materiales empleados como componentes de los morteros efectuados durante la investigación.

Es así como se detallan los principales aspectos de: El agua, la cal, el árido, el aditivo incorporado de cloruro de calcio y silicato de sodio

3.1 Agua

Corresponde a agua potable.

3.2 Áridos

Deben cumplir con la normativa nacional NCh 163 Of 2013. La cual establece que los áridos deben estar constituidos por partículas duras, de forma y tamaño estables y deben estar limpios y libres de terrones, partículas blandas o laminadas, impurezas orgánicas y otras sustancias que afecten la resistencia o la durabilidad de los morteros.

3.2.1 Granulometría

Los resultados de los ensayos granulométricos según NCh 163 of 13, expresado como el promedio de 3 ensayos, se presenta a continuación.

Tabla 3.1 Granulometría de la arena.

TAMICES		% QUE PASA	
ASTM	NCh	Recomendado por NORMA NCH 163	OBTENIDA
4	4,75	95-100	100
8	2,36	80-100	82
16	1,18	50-85	59
30	0,600	25-60	47
50	0,300	5-30	24
100	0,150	0-10	5

Fuente: NCh 163 of 2013: Áridos para morteros y hormigones - Requisitos. 2013

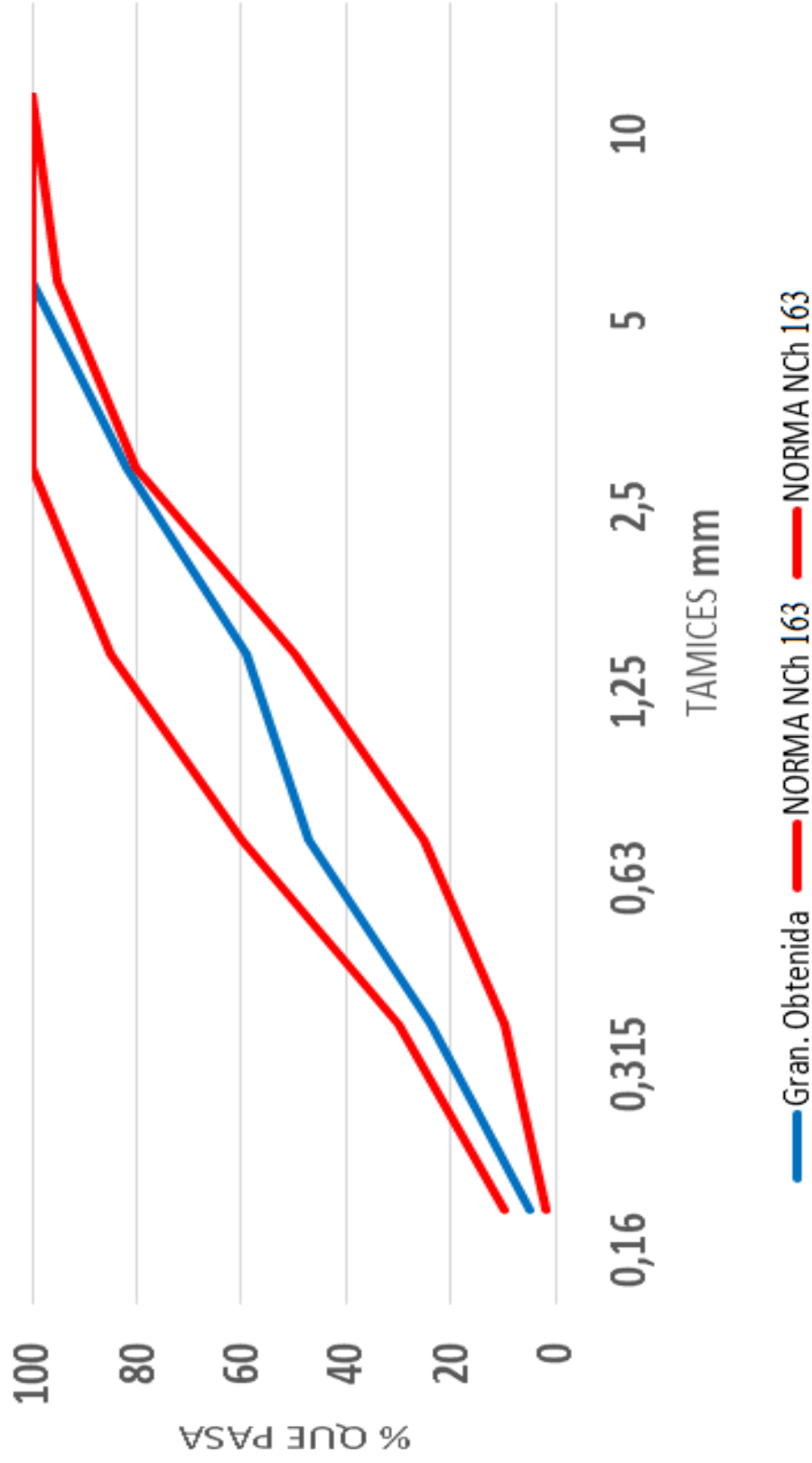
La granulometría empleada para las dosificaciones, corresponde a la arena previamente tamizada bajo malla n° 4 o 5 mm.

El módulo de finura obtenido es:

$$MF = 2.83$$

En la siguiente página se presenta el gráfico granulométrico de la arena utilizada.

Figura 3.1 GRANOLUMETRIA DE LA ARENA



Fuente: NCh 163 : Áridos para morteros y hormigones. 2013

3.3 Otras características del árido fino

Las siguientes características son el resultado del promedio de tres ensayos efectuados según la normativa correspondiente.

3.3.1 Densidad aparente suelta según NCh 1116 of 08

Densidad aparente suelta promedio de tres ensayos:

$$\rho_{as} = 1602,8 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

Densidad aparente compactada promedia de tres ensayos:

$$\rho_{ac} = 1754,4 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

3.3.2 Densidad real, neta y absorción de agua de las arena según NCh 1239 of 09

Densidad Real saturada superficialmente seca:

$$\rho_{rss} = 2550 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

Densidad Real seca:

$$\rho_{rs} = 2530 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

Densidad Neta:

$$\rho_{an} = 2590 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

Absorción:

$$\alpha = 1,04\%$$

3.3.3 Determinación de huecos según NCh 1326 of 12

$$H = 30\%$$

3.4 Cal

Se utilizará cal hidráulica marca SOPROCAL.

3.5 Silicato de sodio

Características técnicas según fabricante

- Grados Baume 50/50°
- Densidad: $2,4 \frac{gr}{cm^3}$
- pH: 13,0
- Contenido Solido: 46,0%

El silicato de sodio se encuentra en estado líquido.

3.6 Cloruro de calcio

Características técnicas según fabricante

- 100% contenido de cloruro de calcio
- Densidad: $1,380 \frac{gr}{cm^3}$
- pH: 9
- Peso molecular: $110,99 \frac{g}{mol}$

El cloruro de calcio se encuentra en estado de polvo.

CAPITULO IV: ENSAYOS UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN

En el presente capítulo se definen los ensayos a realizar, donde se incluyen aspectos como: materiales, procedimientos y normativas.

4.1 Consideraciones previas.

A cada mortero se le realizaran los siguientes ensayos y determinaciones:

- Determinación de las resistencias mecánicas a flexión y a compresión en 3, 7, 14, 28 y 56 días.
- Determinación de la absorción según medida de la porosidad abierta.
- Determinación del escurrimiento.
- Determinación de la densidad aparente.
- Determinación de la permeabilidad.
- Se utilizara solo un tipo de cal.
- Se utilizara solo un tipo de arena.
- Se mantendrá la dosis de agua constante.

4.2 Confección de probetas según NCh 158

Previo a introducir el mortero en los moldes se aplica una leve capa de aceite con el fin de que al momento de desmoldar no se pegue el mortero al molde y se sellan las uniones, luego se miden los materiales según el peso, para luego mezclarlos de la siguiente manera:

- Arena, cal y se revuelven en betonera hasta conseguir una mezcla homogénea para luego agregarle el agua y sus respectivos aditivos.

El llenado de los moldes se realiza de la siguiente manera:

- Se llena en dos capas cada uno de los moldes, la primera se llena hasta la mitad y se apisona con una varilla metálica con dándole 15 golpes. Para luego continuar con la segunda capa hasta el llenado completo del molde.
- Para la compactación final se toma el molde de los costados y se deja caer a una altura de 5 cm hasta alcanzar su compactación.
- Luego se retira el excedente con regla se arrasa, se alisa y se marca.

4.3 Ensayo de flexión según NCh 158

El ensayo de flexión de un material consiste en someter a una probeta normalizada a un esfuerzo axial creciente hasta que se produce la rotura de la probeta. Este ensayo mide la

resistencia de un material a una fuerza estática o aplicada lentamente. El equipo a utilizar será el presentado en la figura 4.1 el cual cumple con la normativa establecida.



Figura 4.1: Maquina Matest-cyberplus

4.3.1 Procedimiento

Se retira la probeta obtenida según NCh 158, de su proceso de curado, pesándola y ensayándola inmediatamente para evitar su secado especialmente en la cara de apoyo. Además se trazan rectas sobre las cuatro caras mayores, que marquen las secciones de apoyo y de carga en forma indeleble y que no alteren las características estructurales de las probetas.

Luego se coloca la probeta en la prensa de ensayo, dejando la cara de llenado en un plano vertical y se le aplica la carga de forma continua hasta lograr la rotura de la probeta y ese punto se registrara como la carga máxima P .

Al tener la probeta partida en dos partes se determinan el ancho y la altura, en una de estas. Para luego efectuar una medición en cada extremo y otra aproximada en el punto medio de la sección de ensayo.

4.4 Ensayo de resistencia a compresión según NCh 158

El ensayo de compresión es un ensayo para determinar la resistencia de un material o su deformación ante un esfuerzo de compresión. El equipo a utilizar será el presentado en la figura 4.1 el cual cumple con la normativa establecida.

4.4.1 Procedimiento

El acondicionamiento previo de la probeta se basa en NCh 1017. Lo primero es pesar la probeta luego se coloca la probeta con la cara de llenado en un plano vertical frente al operador, se miden los anchos de las cuatro caras laterales de la probeta en el eje horizontal y también se miden las alturas de las cuatro caras laterales en el eje vertical.

Se coloca la probeta en la cara de llenado de un plano perpendicular a la placa inferior de la prensa y se aplica una carga en forma continua y sin choques hasta alcanzar la rotura de la probeta.

4.5 Ensayo para determinación del desparramado según norma DIN 1048

El ensayo de desparramado mide el asentamiento que presenta la masa de mortero después de haber sido expuesta en la mesa de sacudidas. El equipo a utilizar será el presentado en la figura 4.2 el cual cumple la norma establecida.



Figura 4.2: Mesa de sacudidas laboratorio Universidad de Valparaíso

4.5.1 Procedimiento

Se debe limpiar cuidadosamente la superficie de la mesa y el molde, ubicando este último en el centro de la mesa. Luego se debe llenar el molde con mortero, en dos capas de igual altura, compactando cada capa con 10 golpes de pisón aplicados en forma suave y distribuida por toda la capa, solo para asegurar un llenado uniforme del molde. Terminada la compactación, enrasas suavemente, eliminando el derrame de mortero y limpiar cuidadosamente la mesa. Retirar el molde verticalmente, procediendo inmediatamente a levantar la parte superior de la mesa, dando 15 sacudidas en 15 segundos.

Al terminar se miden dos diámetros perpendiculares entre sí, aproximando al milímetro. La fluidez del mortero queda expresada por el promedio aritmético de los diámetros medidos, expresados en mm y redondeados a la unidad

4.6 Determinación de la densidad aparente del mortero

La densidad aparente en determinado estado de compactación permite transformar peso a volumen o viceversa. Relacionado con la densidad real permite conocer el grado de compacidad o huecos que posee el árido.

Para determinar la densidad aparente se pesaran las probetas de 4cm x 4cm x 16 cm y también las probetas de 15cm x 15cm x 12cm y se dividirá por su volumen y con esto se obtiene la densidad aparente, expresando el resultado como el promedio aritmético de los dos ensayos.

$$D_{ap} = \frac{M(kg)}{V(m^3)}$$

4.7 Absorción capilar

Las probetas empleadas para determinar la absorción capilar son de forma cilíndrica de diámetro 7 cm y alto 15 cm, como se muestran en la figura 4.3.



Figura 4.3: Probetas para absorción capilar.

4.7.1 Procedimiento

Luego de 28 días se retiran de la cámara húmeda las probetas, destinadas a este ensayo, luego se secan en un horno a 110 °C durante 24 horas, posteriormente se dejan enfriar a temperatura ambiental de laboratorio.

Al secarse se efectúa un corte a 1 cm de una de las dos caras paralelas, de diámetro 7 cm. Luego con una brocha se impermeabiliza con parafina sólida aplicada en una delgada capa la superficie restante a la cortada. Posteriormente se posa la probeta con su cara cortada en un receptáculo conteniendo arena saturada de agua.

Finalmente se mide el incremento de peso de la probeta en función del tiempo 1, 3, 7 días.

4.8 Ensayo de permeabilidad según NCh 2262 of 2009

El ensayo de permeabilidad es un ensayo técnico que sirve para determinar la capacidad que tiene un material, permitirle a un flujo que lo atraviese sin alterar su estructura interna. El equipo a utilizar será el presentado en la figura 4.4 el cual cumple con la normativa establecida.

El acondicionamiento previo de la probeta se basa en NCh 2262 of 09



Figura 4.4: Probetas para ensayo de permeabilidad.

4.8.1 Procedimiento

Cuando las probetas cumplan 28 días de edad, se colocan en el equipo, de modo que la presión de agua actúe sobre la cara prevista y las otras caras puedan ser observadas. Se coloca un anillo de sellado, de goma u otro material similar, en la unión entre la parte del equipo que aplica la presión de agua y la probeta, de modo que no se produzcan pérdidas de agua en dicha zona durante el ensayo. Luego se aplica una presión de agua de 0,5 MPa, durante 72 horas.

Si el agua aflora hacia el exterior de alguna probeta, se deben registrar la presión y el instante en que se produce el afloramiento de agua, deteniéndose el ensayo de esa probeta.

Inmediatamente de finalizado el ensayo, las probetas en que no hubo afloramiento de agua se someten a rotura por hendimiento, colocando en su parte media las barras de carga, una arriba y otra abajo. Aplicar la carga perpendicular al sentido en que se ejerció la presión de agua. Inmediatamente se debe establecer la profundidad de la penetración de agua y la forma en que se distribuye, marcando indeleblemente la zona con un elemento de punta fina

CAPITULO V: PROGRAMACIÓN DE LA EXPERIENCIA

El presente capítulo tiene como función mencionar la forma en que se identificara cada probeta de la investigación como también presentar un detalle del número de ensayos a realizar.

5.1 Programación de la investigación

5.1.1 Identificación de dosificaciones

Tablas 5.1: Identificación de dosificaciones y denominaciones

Material	Dosificación	Denominación
Mortero patrón	1:4	P1
Cloruro de calcio	1:4	C1
Cloruro de calcio	1:4	C2
Cloruro de calcio	1:4	C3
Cloruro de calcio	1:4	C4
Silicato de sodio	1:4	S1
Silicato de sodio	1:4	S2
Silicato de sodio	1:4	S3
Silicato de sodio	1:4	S4

Fuente: Elaboración propia, 2015

5.1.2 Ensayos de flexión y compresión.

Para cada dosificación se realizó una colada.

Total de coladas para los ensayos de flexión = 9

Total de ensayos = 36

5.1.3 Ensayo de compresión.

Para cada dosificación se realizó una colada

Total de coladas para el ensayo de compresión = 9

Total de ensayos = 72

5.1.4 Ensayo de absorción de agua

Para cada dosificación se realizó una colada

Total de coladas para ensayo de permeabilidad = 9

Total de ensayos = 27

5.1.5 Ensayo de desparramado

Para cada dosificación se realizó una colada.

Total de coladas para el ensayo de desparramado = 9

Total de ensayos = 27

5.1.6 Ensayo de permeabilidad

Para cada dosificación se realizó una colada.

Total de coladas para el ensayo de permeabilidad = 9

Total de ensayos = 27

5.2 Volumen de cada colada

Tablas 5.2: Cantidad de litros a usar por colada

Tipo de ensayo	Volumen (litros)
Desparramado	1
Flexión y compresión	4
Permeabilidad	9
Absorción	3
Exceso	3
Total cada colada	20 litros

Fuente: Elaboración propia, 2015

CAPITULO VI: FABRICACION DEL MORTERO

El presente capítulo tiene el objetivo de explicar el paso a paso del desarrollo experimental de la investigación con el fin de detallar cada proceso expuesto en ella y la forma en que se realizó la dosificaciones y la incorporación de los aditivos.

6.1 Mortero

La fabricación del mortero se realiza midiendo sus materiales constituyentes (cal, árido y agua) para luego mezclarlos hasta formar una masa homogénea.

6.1.1 Medición de los materiales

La medición de los materiales está destinada a asegurar a que ellos se incorporarán en las cantidades previstas al estudiar la dosificación del mortero, para lo cual debe efectuarse con una adecuada precisión.

La medición de los materiales se efectuara en peso para la cal, árido, cloruro de calcio, silicato de sodio y el agua.

6.2 Dosificación de morteros

Cualquiera sea el método de cálculo que se emplee para dosificar morteros, será necesario contar con algunos datos empíricos que se han de considerar solamente para fines de dosificación, lo que implica la conveniencia de realizar mezclas de prueba para ajustar las dosificaciones con ellos calculadas.

6.2.1 Conceptos básicos para la dosificación

6.2.1.1 Árido fino.

El hecho que los morteros estén habitualmente compuestos por un solo árido fino (arena), trae como consecuencia que algunas de sus principales condiciones queden definidas de una alta proporción por las propiedades de dicho árido

El contenido de hueco del árido condiciona la resistencia del mortero, pues el mortero no resulta compacto si la suma de volúmenes absolutos de cal y agua no rellena dichos huecos.

6.2.1.2 Cantidad de agua del mortero

En el caso si el mortero se dosifica para cumplir con proporciones o requisitos, la cantidad de agua queda definida por la trabajabilidad que se debe tener para ser colado en obra de acuerdo con el uso al que está destinado.

Este importante aspecto muchas veces queda a criterio del albañil, puesto que este recibe los materiales por separado o mezclados en seco y va agregando el agua a medida que lo va necesitando.

Para el tanteo preliminar y encontrar las dosificaciones adecuadas para el flujo buscado, se ocupó la tabla n° 2 con valores de cantidades de agua, basada en el módulo de finura de la arena y flujo buscado

Tabla 6.1: Determinación de la dosis de agua y aire (L/m^3) de un mortero

	MF = 3,2			MF = 2,7			MF = 2,2			MF = 1,8			H
% de cal	<25	25-50	>50	<25	25-50	>50	<25	25-50	>50	<25	25-50	>50	

ARENA TAMAÑO MAXIMO 5 mm

Fluidez	Agua y aire (L/m^3)												
Baja	260	265	270	280	285	290	310	315	320	350	355	360	30
Media	270	275	280	290	295	300	320	325	330	350	355	370	30
Alta	290	295	300	310	315	320	340	345	350	380	385	390	40
Muy alta	301	315	320	330	335	340	360	365	370	400	405	410	40

Fuente: Manual del mortero. 1989

MF = Módulo de finura de la arena

H = Contenido mínimo de aire para un mortero

6.3 Ecuación para la dosificación de morteros.

La dosificación de un mortero se debe comenzar por estimar los valores de agua y aire, por medio de tablas y datos empíricos que ayuden a la obtención final de los valores reales, esto se establece con la suma de volúmenes absolutos de sus respectivos componentes, lo que se expresa de la siguiente manera:

$$V_w + V_a + V_k + V_f = 1000 \text{ lts.}$$

Dónde:

V_w es el volumen absoluto de agua

V_a es el volumen absoluto de aire

V_k es el volumen absoluto de cal

V_f es el volumen absoluto de árido fino.

En estricto rigor es necesario determinar los pesos específicos reales de los materiales mediante ensayos de laboratorio. Sin embargo, en caso de no disponerlos, para efecto de cálculos aproximados pueden utilizarse los siguientes valores:

Tablas 6.2: Pesos específicos de los materiales

Material	Peso específico
Cal	Pk 2,45 kg/L
Arena	Pf 2,65 kg/L

Fuente: Manual del mortero. 1989

6.3.1 Proporciones especificadas en volumen

Debido a que en nuestra investigación los materiales se encuentran en estado seco y el propósito es lograr dosificaciones para el uso de la mezcla seca, la aplicación de este método es recomendable.

Se tiene que k' : f' : son las proporciones en volumen de cal y arena, esto significa que por cada unidad de cal, medida en un recipiente de volumen conocido, debe agregarse f' unidades de volumen de arena seca.

Para los cálculos aproximados se consideraron los siguientes valores para las densidades aparentes de los materiales que intervienen en la composición del mortero con cal.

Tabla 6.3: Densidades aparentes de los materiales

Material	Densidad aparente	Condición del material
Cal	dk= 0,65 (kg/l)	En bolsa
Arena	df= 1,54 (kg/l)	Seca

Fuente: Manual del mortero. 1989

Tabla n° 4

Por lo tanto si la dosificación esta expresada mediante la relación anterior, la cantidad por metro cubico de mortero podrán calcularse a partir de siguiente manera:

$$\frac{Kxk'}{pk} + \frac{Kxf'}{pf} + A + H = 1000$$

En la cual K es la dosis de cal correspondiente a un metro cubico de mortero, mientras que pk y pf son los pesos específicos. Dada nuestra relación 1:4 (cal: arena)

Remplazado en la formula anterior se obtiene lo siguiente:

$$K = \frac{(1000 - A - H)}{\left(\frac{1}{pk} + \frac{4}{pf}\right)}$$

Y con ello se obtiene lo siguiente:

$$K = \alpha$$

$$A = 4 \times \alpha$$

Siendo K y A las cantidades de cal y arena respectivamente.

6.4 Incorporación de los aditivos al mortero

Para ambos aditivos la forma de incorporarlos a los morteros será la misma, luego de que estén previamente mezcladas en betonera la arena, cal y agua se incorporara el aditivo de una sola vez agregado la totalidad de la dosis correspondiente por colada y se dejara mezclando por un tiempo para lograr que se disuelva totalmente.

CAPITULO VII: EVALUACION Y TABULACION DE RESULTADOS

En este capítulo se incluyen las tablas de dosificación del mortero patrón y sus respectivos aditivos además de la tabulación y análisis de resultados. Las cantidades son expresadas en peso.

7.1 Dosificación para el mortero patrón

Tabla 7.1: Dosificación mortero patrón

Material	Cantidad en Kg/ m ³	Cantidad para 20 litros
Cal	162,0	3,240
Arena	1478	29,580
Agua	290	5,800
Aditivo	0	0

Fuente: Elaboración propia, 2015.

7.2 Dosificación para mortero con aditivo de cloruro de calcio

Tabla 7.2: Dosificaciones Mortero con cloruro de calcio

Material	0%	0,5%	1%	1,5%	2%
Cal (gr)	162	162	162	162	162
Arena (gr)	1478	1478	1478	1478	1478
Agua (cc)	290	290	290	290	290
Aditivo (gr)	0	0,81	1,62	2,42	3,23
Denominación	P1	C1	C2	C3	C4

Fuente: Elaboración propia, 2015.

7.3 Dosificación para mortero con aditivo de silicato de sodio

Tabla 7.3: Dosificaciones Mortero con silicato de sodio

Material	0%	0,5%	1%	1,5%	2%
Cal (gr)	162	162	162	162	162
Arena (gr)	1478	1478	1478	1478	1478
Agua (cc)	290	290	290	290	290
Aditivo (gr)	0	0,81	1,62	2,42	3,23
Denominación	P1	S1	S2	S3	S4

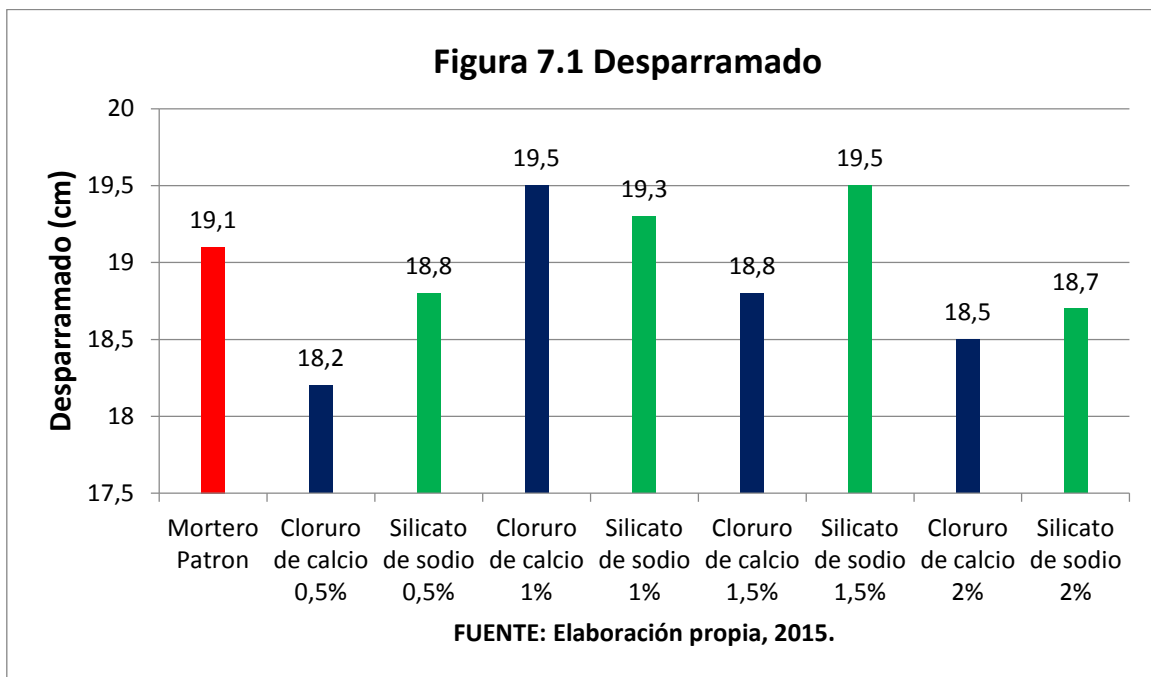
Fuente: Elaboración propia, 2015.

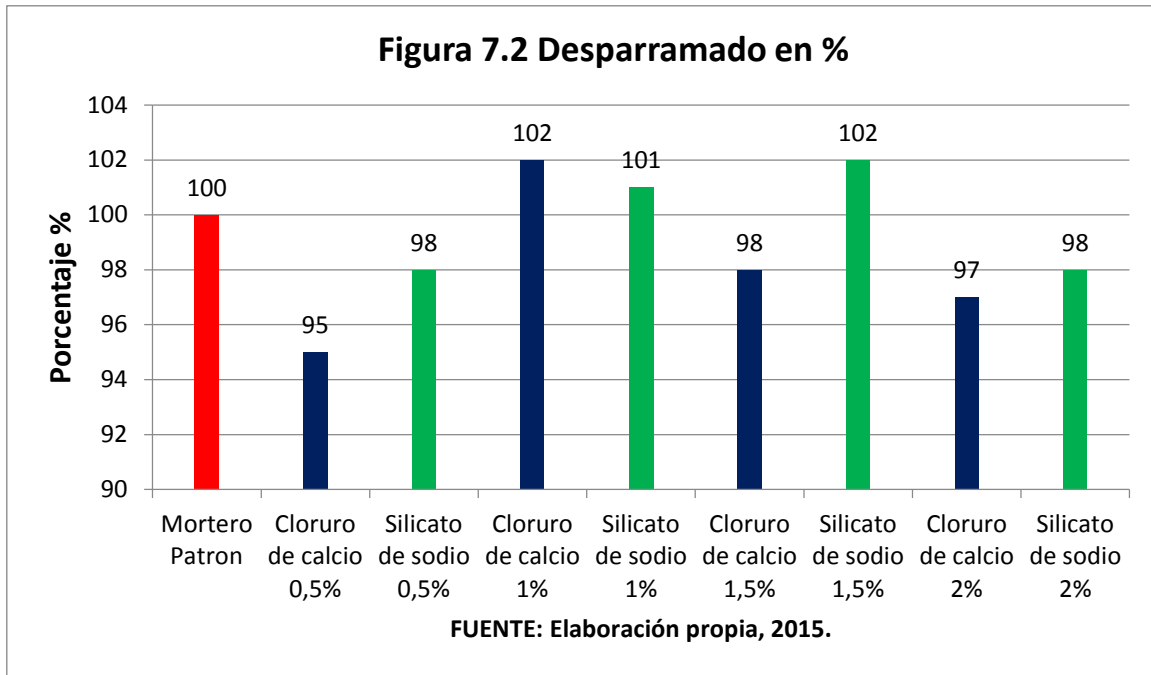
7.4 Resultado de los ensayo de desparramado según NCh 2257 of 96

Tabla 7.4.1: Resultado de desparramado en centímetros

Colada	Desparramado (cm)	Desparramado (%)
P1	19,1	100
C1	18,2	95
C2	19,5	102
C3	18,8	98
C4	18,5	97
S1	18,8	98
S2	19,3	101
S3	19,5	102
S4	18,7	98

Fuente: Elaboración propia, 2015





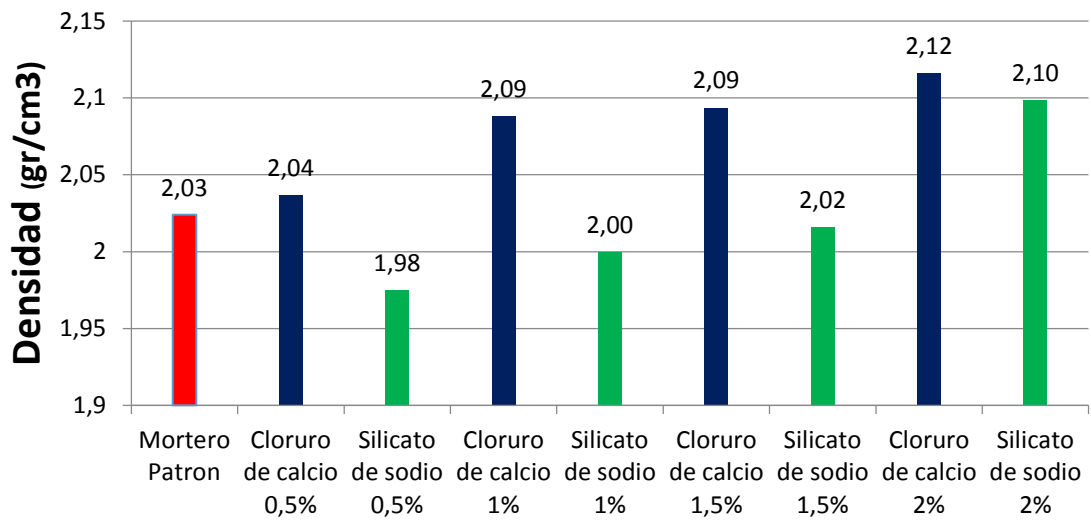
7.5 Densidad aparente del mortero endurecido sobre 14 días

Tabla 7.5.1: Resultado densidad del mortero endurecido a 14 días

Colada	Densidad (g/cm ³)	Densidad (%)
P1	2,03	100
C1	2,04	101
C2	2,09	103
C3	2,09	103
C4	2,12	104
S1	1,98	97
S2	2,00	99
S3	2,02	100
S4	2,10	104

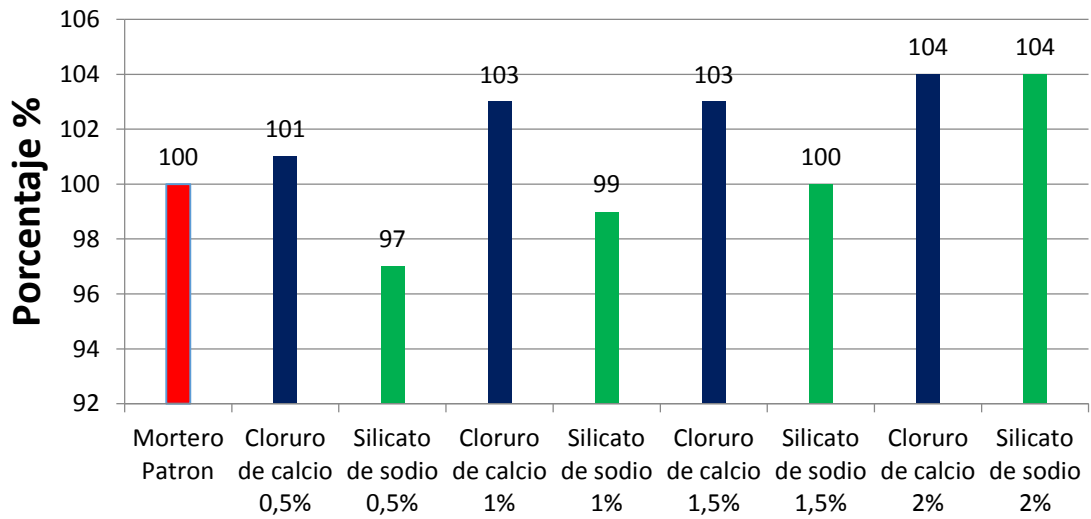
Fuente: Elaboración propia, 2015

Figura 7.3 Densidad del mortero a los 14 días



FUENTE: Elaboración propia, 2015

Figura 7.4 Densidad del mortero a los 14 días en %



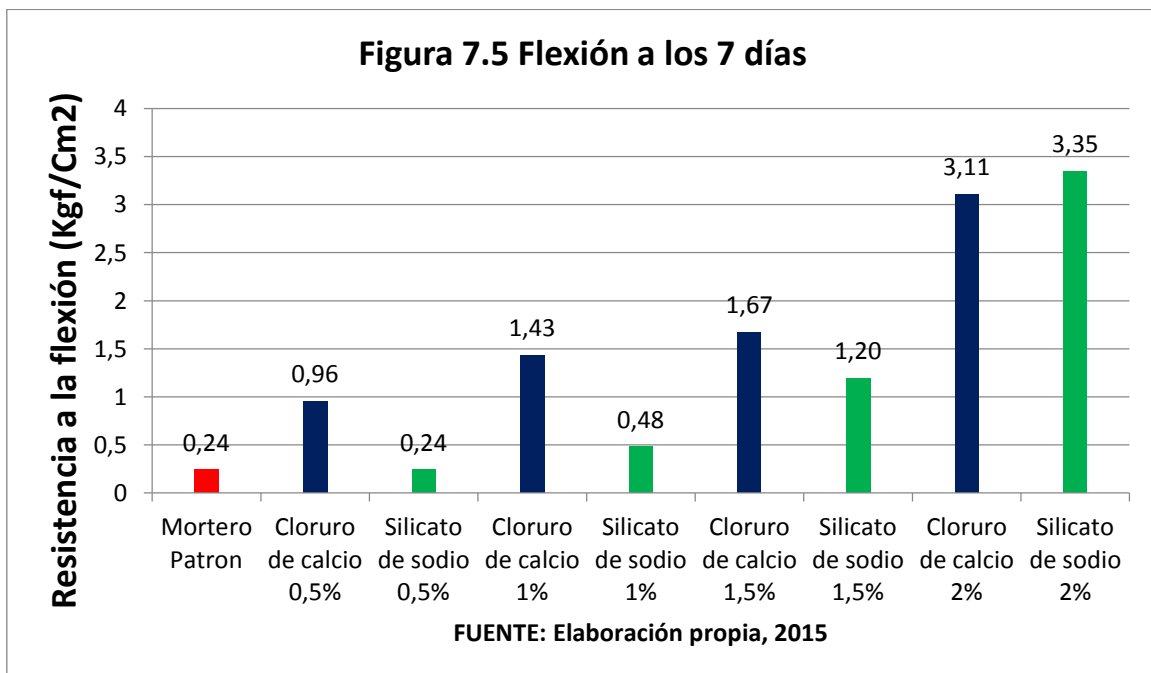
FUENTE: Elaboración propia, 2015

7.6 Resultados ensayo de flexión según NCh 158

Tabla 7.6.1: Resultados ensayo de flexión a los 7 días en (Kgf/cm²)

Colada	Flexión (kgf/cm ²)	Flexión (%)
P1	0,24	100
C1	0,96	500
C2	1,43	700
C3	1,67	850
C4	3,11	1550
S1	0,24	100
S2	0,48	250
S3	1,20	600
S4	3,35	1650

Fuente: Elaboración propia, 2015



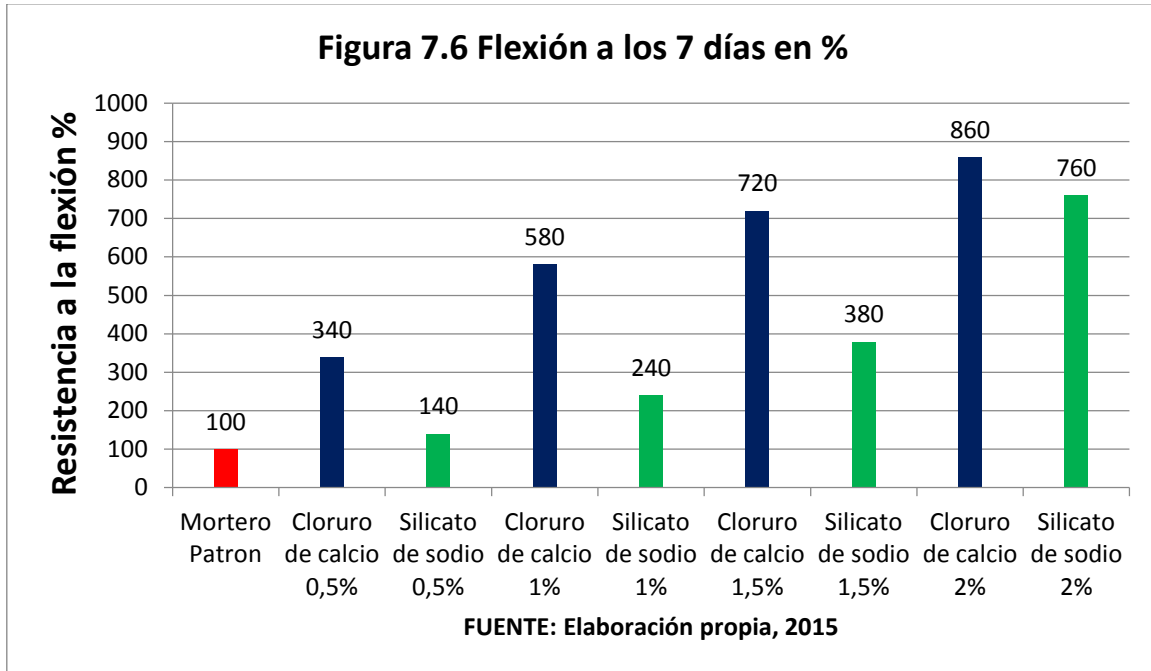


Tabla 7.6.2: Resultados ensayo de flexión a los 14 días en (Kgf/cm²)

Colada	Flexión (kgf/cm ²)	Flexión (%)
P1	0,50	100
C1	1,74	340
C2	2,90	580
C3	3,59	720
C4	4,30	860
S1	0,71	140
S2	1,19	240
S3	1,91	380
S4	3,82	760

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Figura 7.7 Flexión a los 14 días

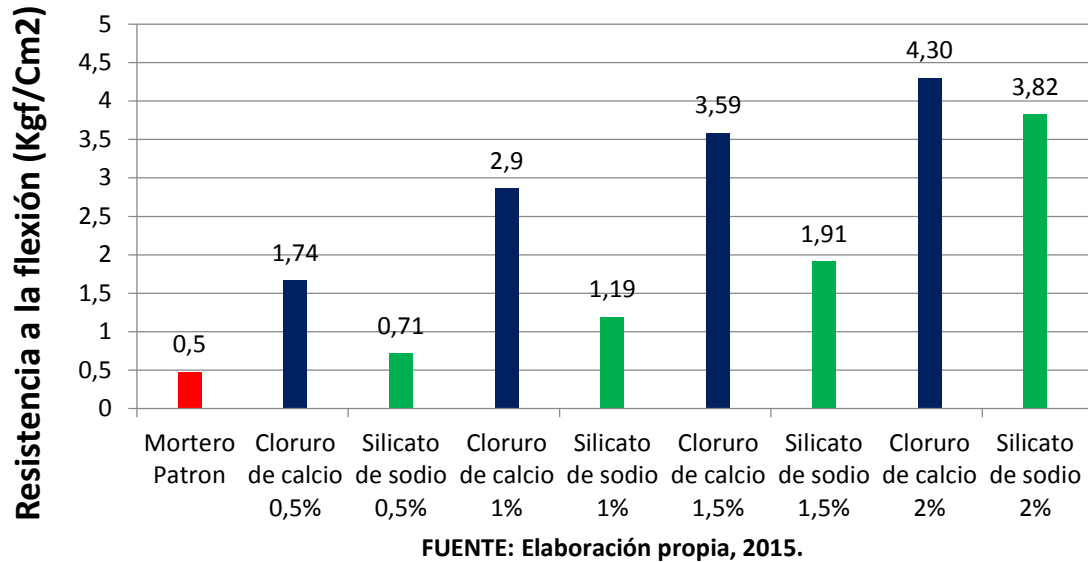


Figura 7.8 Flexión a los 14 días en %

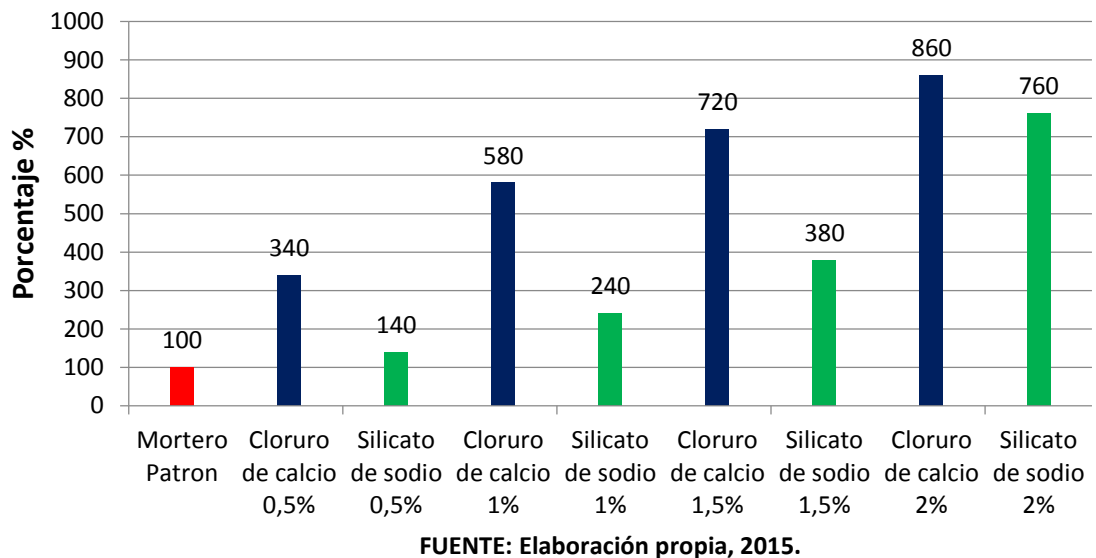
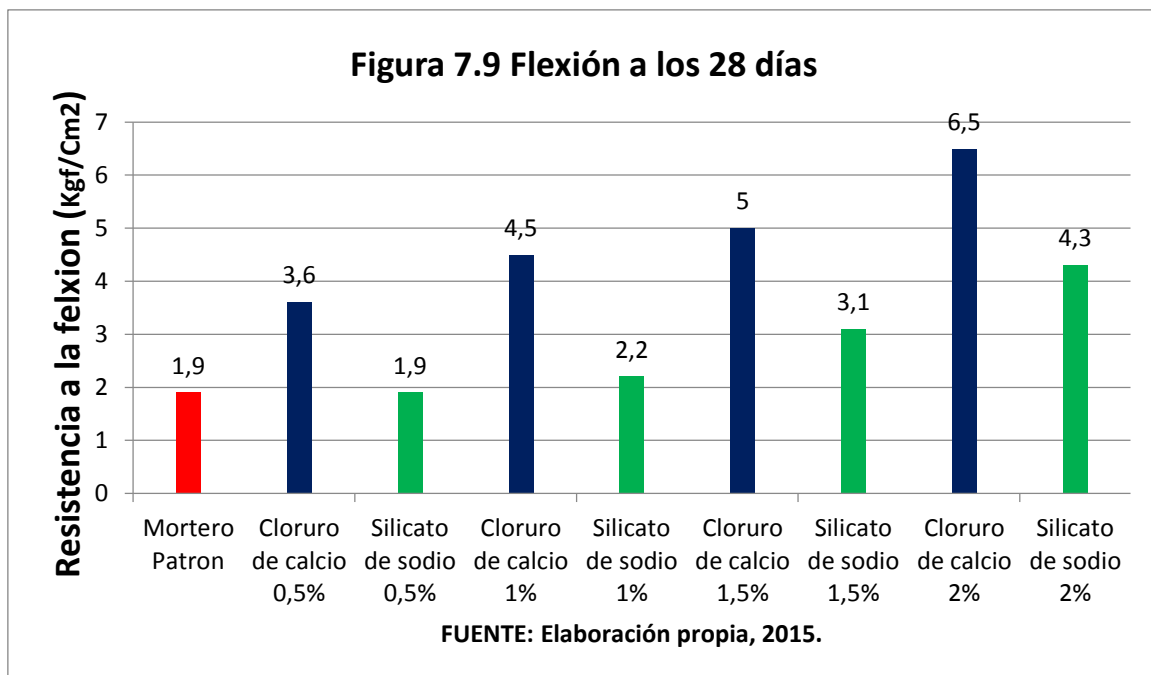


Tabla 7.6.3: Resultados ensayo de flexión a los 28 días en (Kgf/cm²)

Colada	Flexión (kgf/cm ²)	Flexión (%)
P1	1,9	100
C1	3,6	189
C2	4,5	237
C3	5,0	263
C4	6,5	342
S1	1,9	100
S2	2,2	116
S3	3,1	163
S4	4,3	226

Fuente: Elaboración propia, 2015



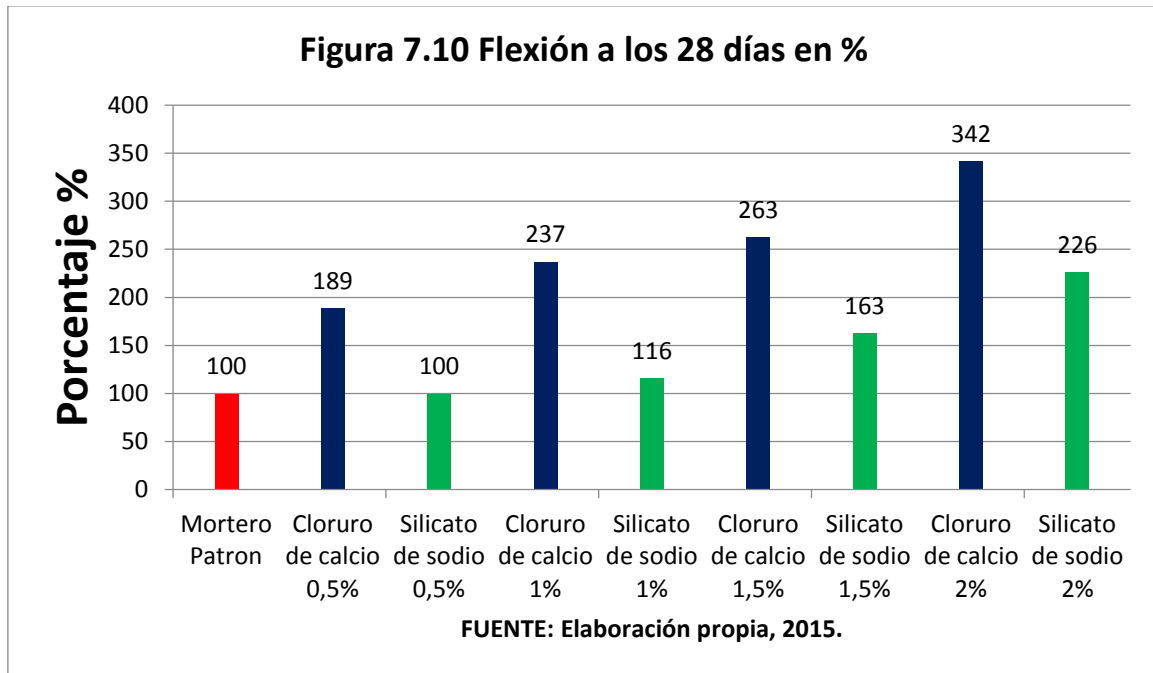
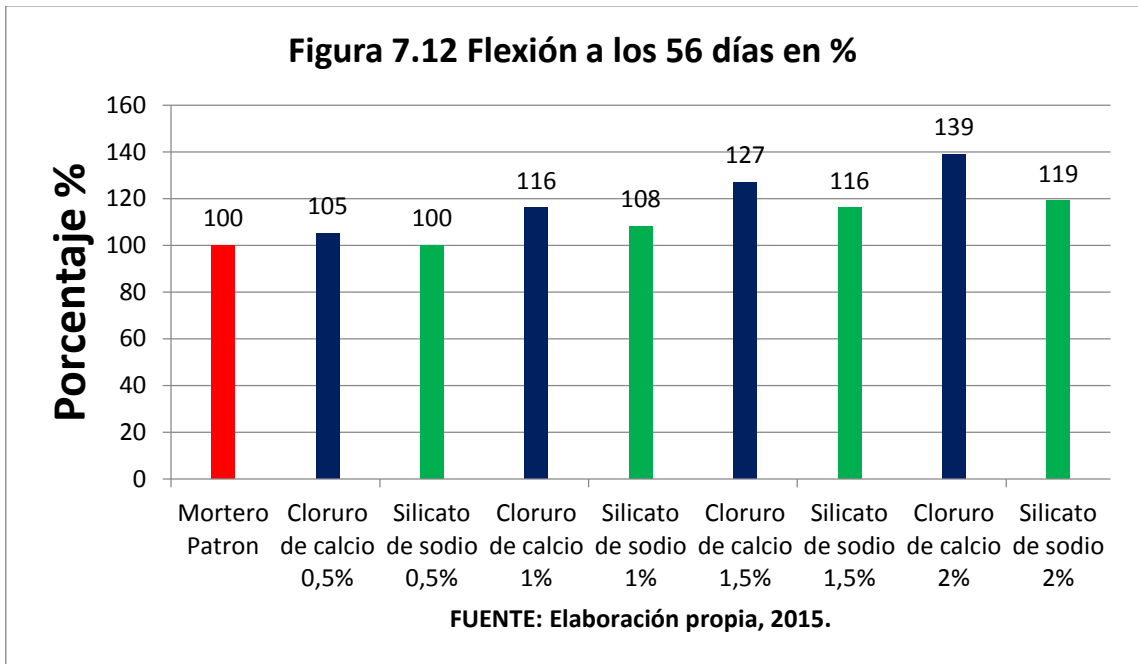
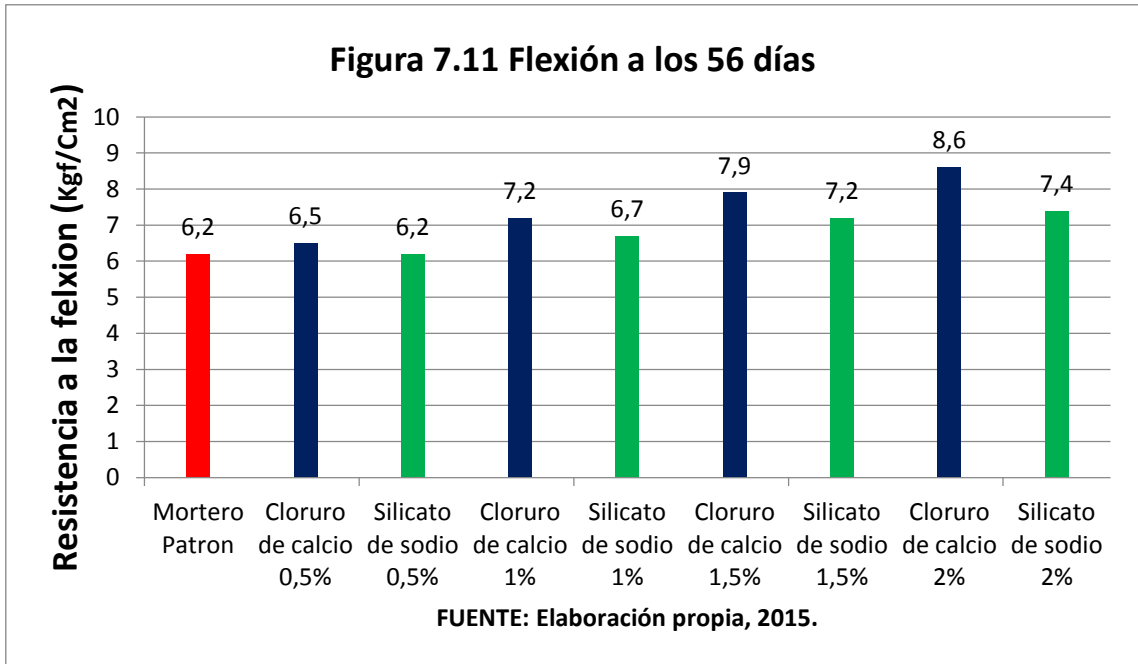


Tabla 7.6.4: Resultados ensayo de flexión a los 56 días en (Kgf/cm²)

Colada	Flexión (kgf/cm ²)	Flexión (%)
P1	6,2	100
C1	6,5	105
C2	7,2	116
C3	7,9	127
C4	8,6	139
S1	6,2	100
S2	6,7	108
S3	7,2	116
S4	7,4	119

Fuente: Elaboración propia, 2015

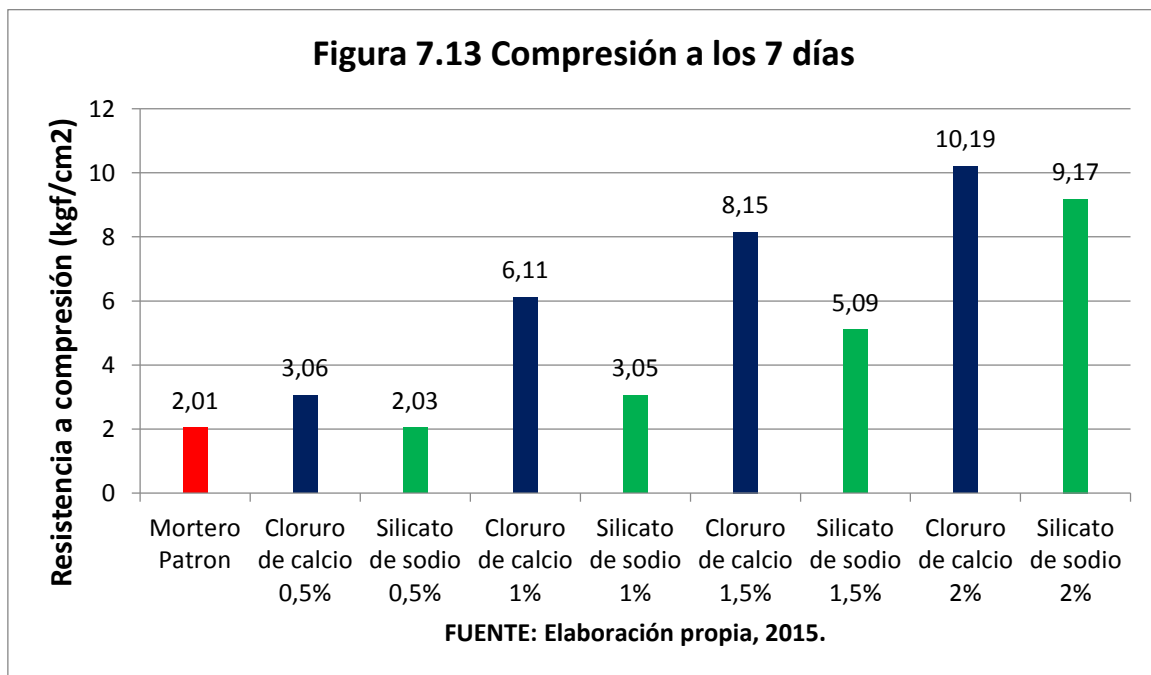


7.7 Resultados ensayo de compresión según NCh 1037 of 09

Tabla 7.7.1: Resultados ensayo de compresión a los 7 días en (kgf/cm²)

Colada	Compresión (kgf/cm ²)	Compresión (%)
P1	2,0	100
C1	3,06	155
C2	6,11	305
C3	8,15	410
C4	10,19	510
S1	2,03	100
S2	3,05	155
S3	5,09	255
S4	9,17	460

Fuente: Elaboración propia, 2015



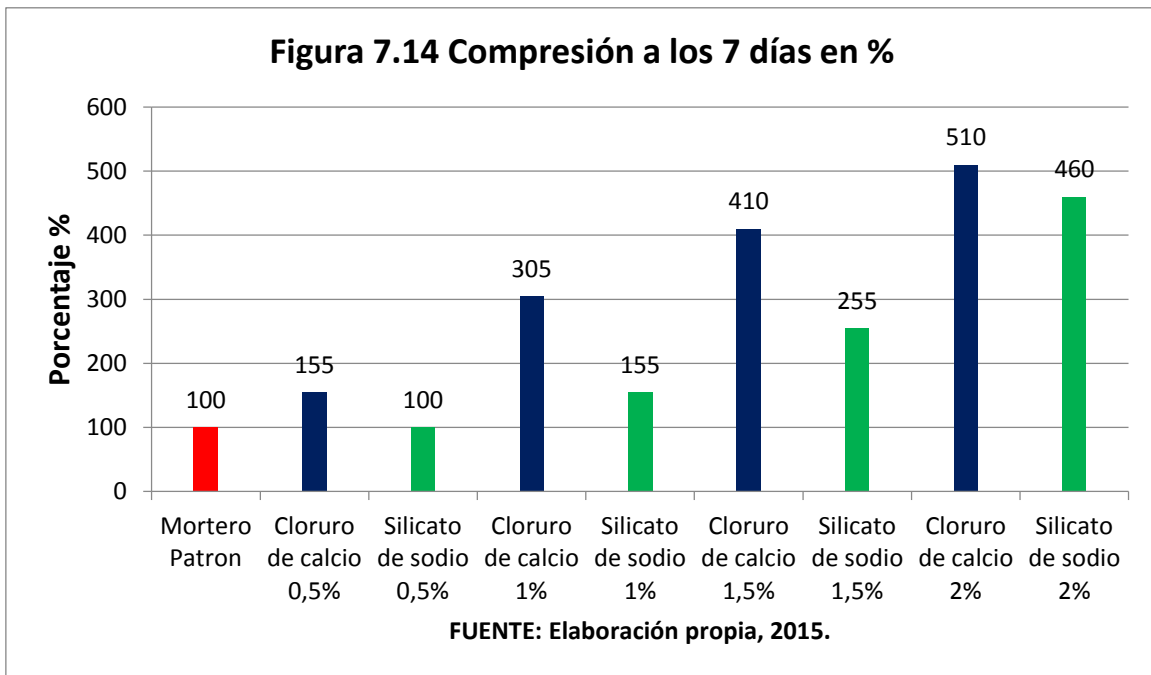
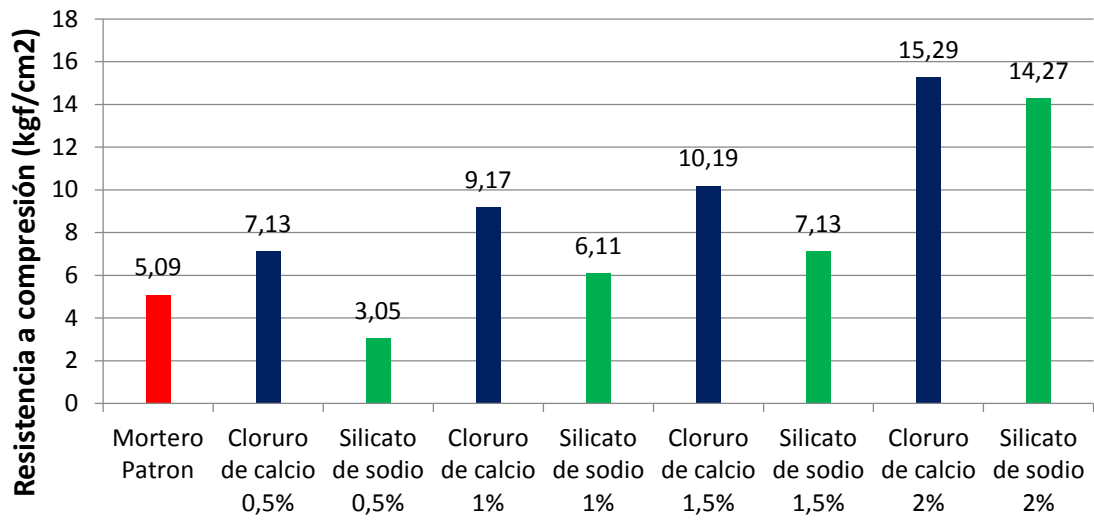


Tabla 7.7.2: Resultados ensayo de compresión a los 14 días en (kgf/cm²)

Colada	Compresión (kgf/cm ²)	Compresión (%)
P1	5,09	100
C1	7,13	139
C2	9,17	180
C3	10,19	200
C4	15,29	300
S1	3,05	100
S2	6,11	120
S3	7,13	139
S4	14,27	280

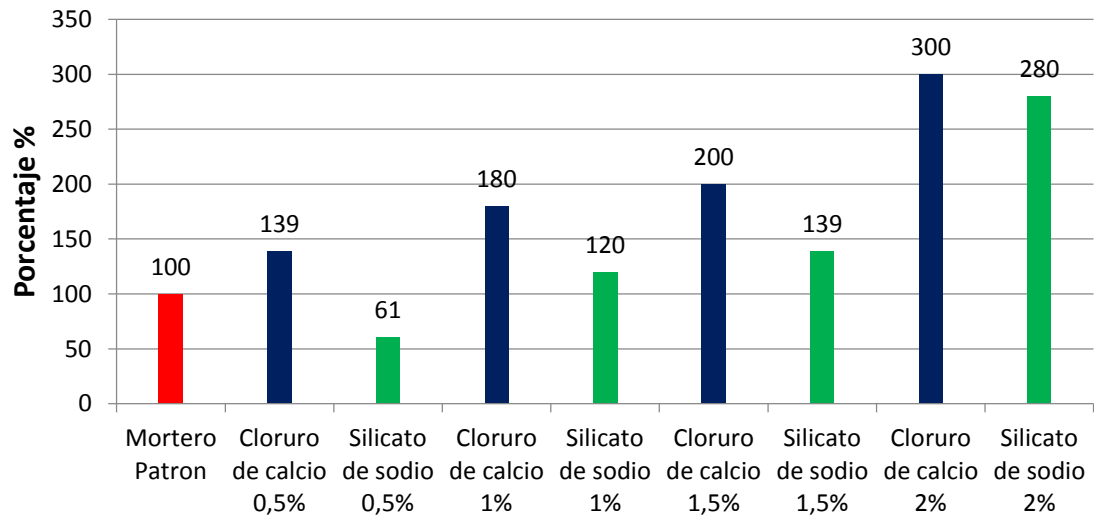
Fuente: Elaboración propia, 2015.

Figura 7.15 Compresión a los 14 días



FUENTE: Elaboración propia, 2015.

Figura 7.16 Compresión a los 14 días en %

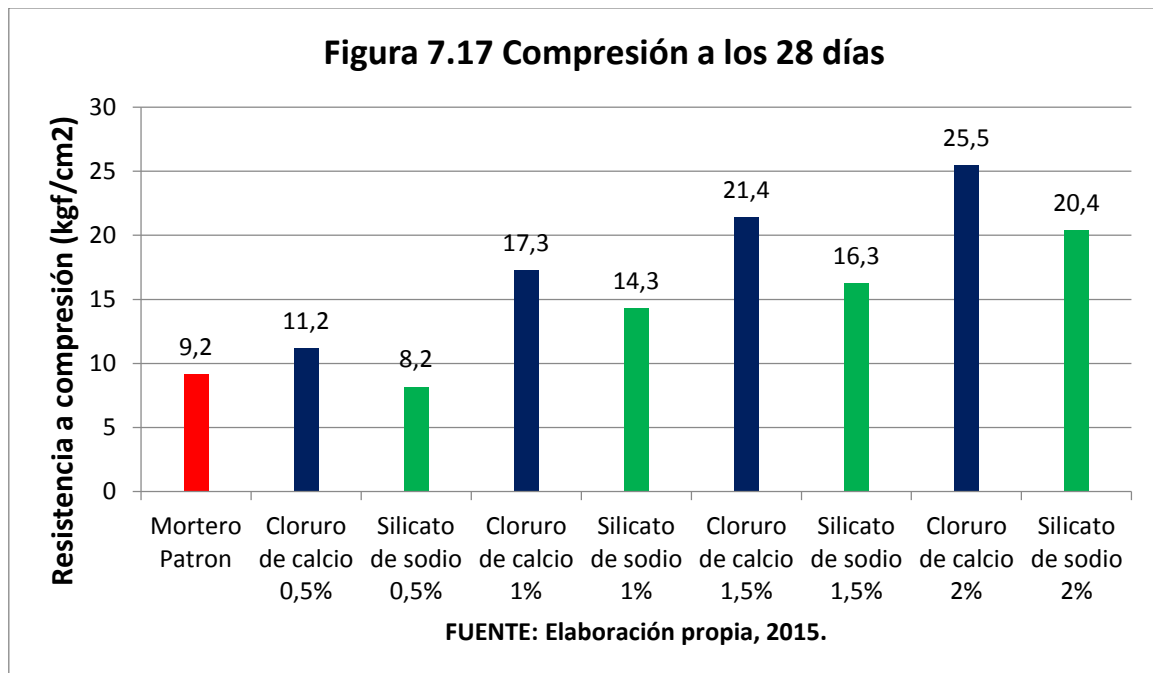


FUENTE: Elaboración propia, 2015.

Tabla 7.7.3: Resultados ensayo de compresión a los 28 días en (kgf/cm²)

Colada	Compresión (kgf/cm ²)	Compresión (kgf/cm ²)
P1	9,2	100
C1	11,2	122
C2	17,3	188
C3	21,4	233
C4	25,5	277
S1	8,2	111
S2	14,3	155
S3	16,3	177
S4	20,4	222

Fuente: Elaboración propia, 2015.



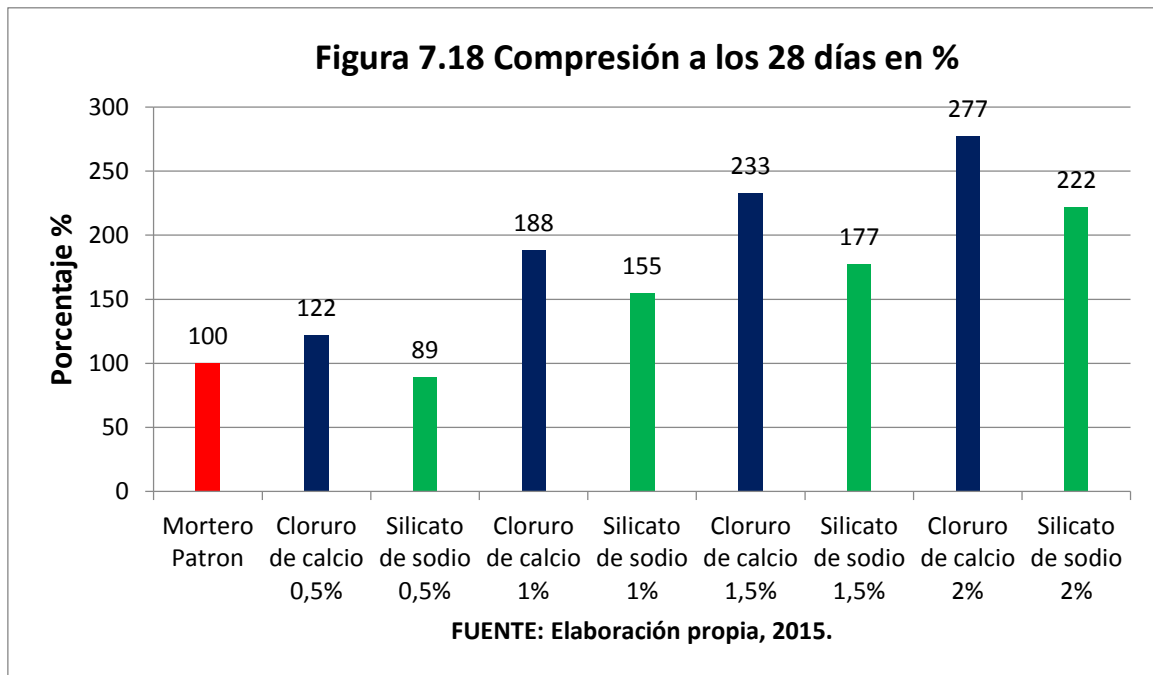
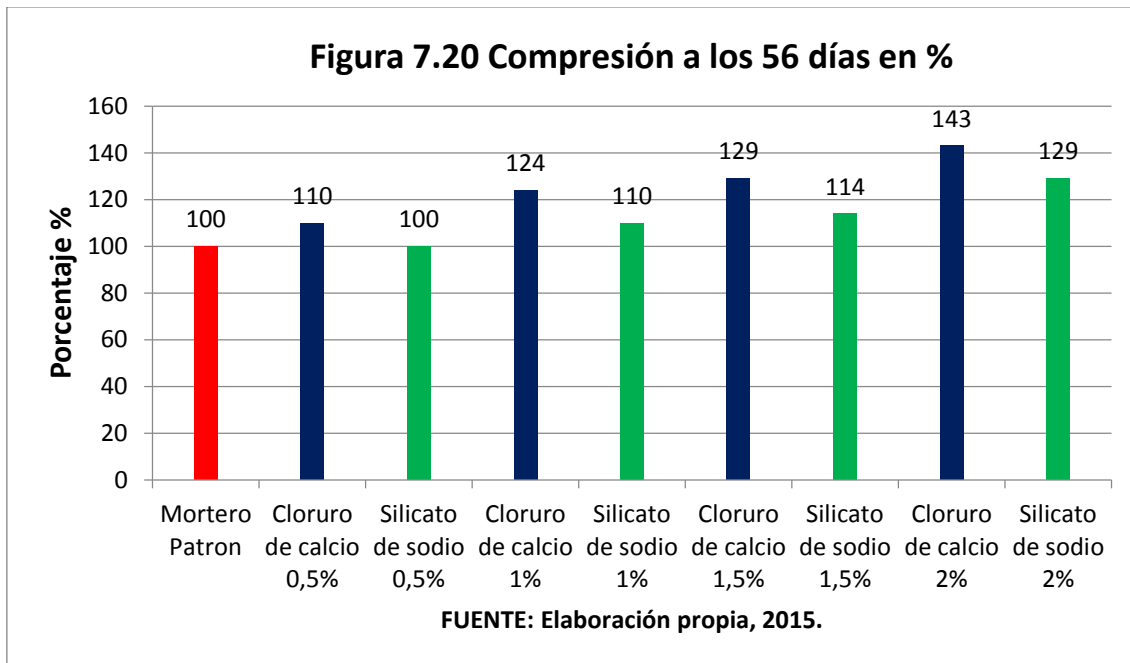
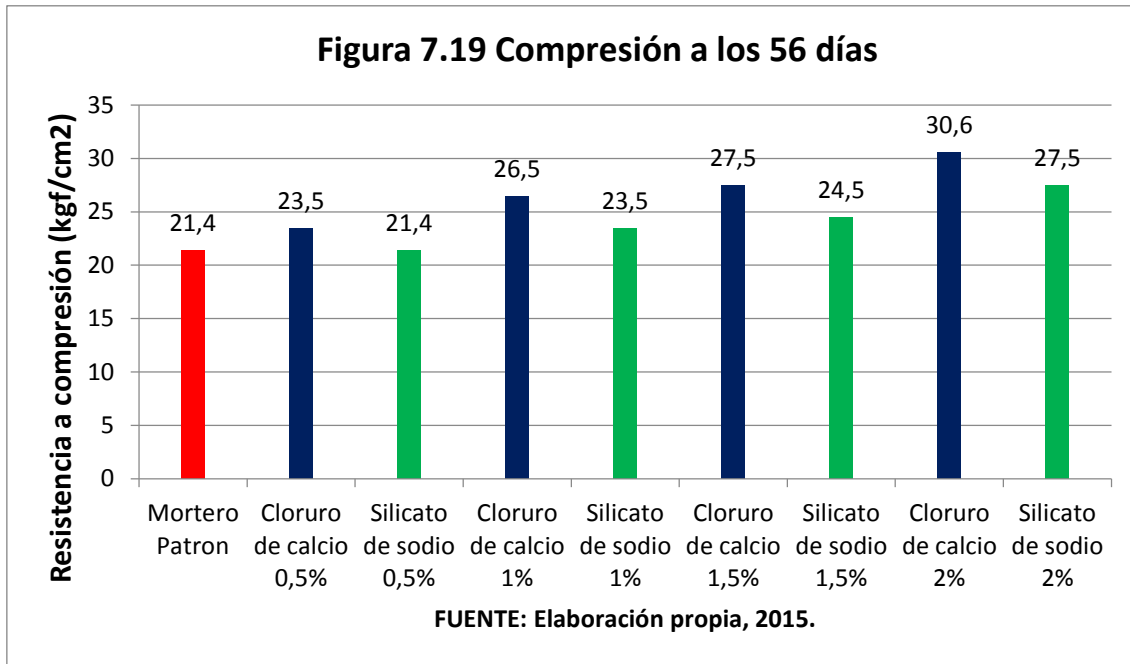


Tabla 7.7.4: Resultados ensayo de compresión a los 56 días en (kgf/cm²)

Colada	Compresión (kgf/cm ²)	Compresión (%)
P1	21,4	100
C1	23,5	110
C2	26,5	124
C3	27,5	129
C4	30,6	143
S1	21,4	100
S2	23,5	110
S3	24,5	114
S4	27,5	129

Fuente: Elaboración propia, 2015.

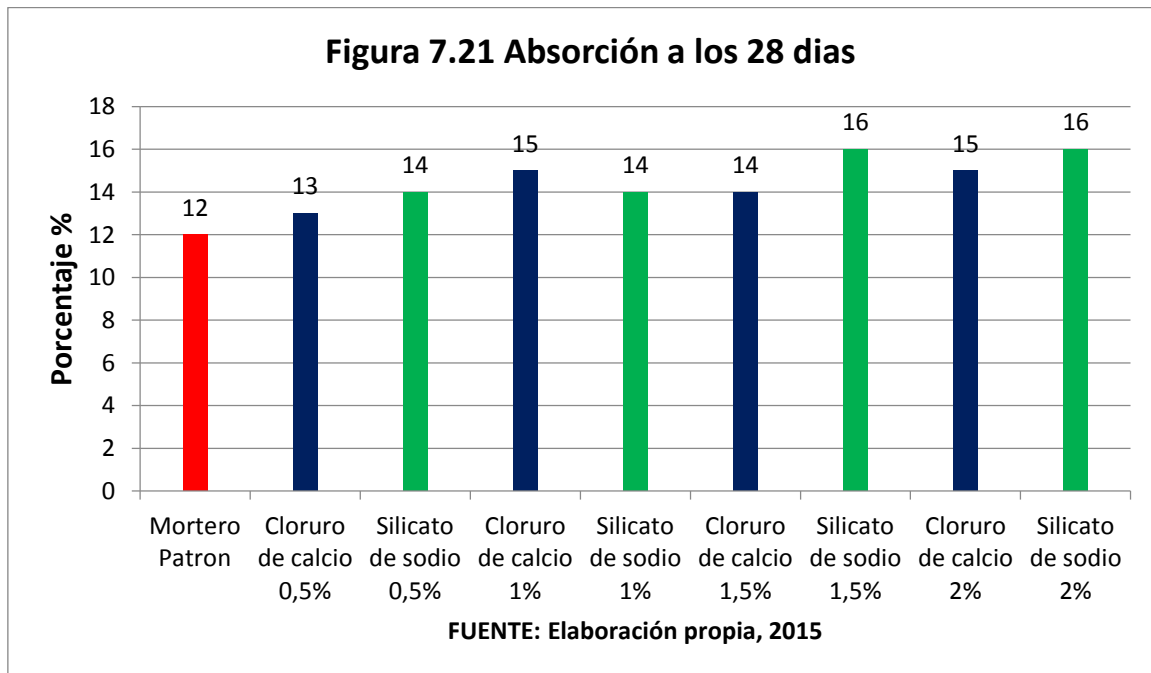


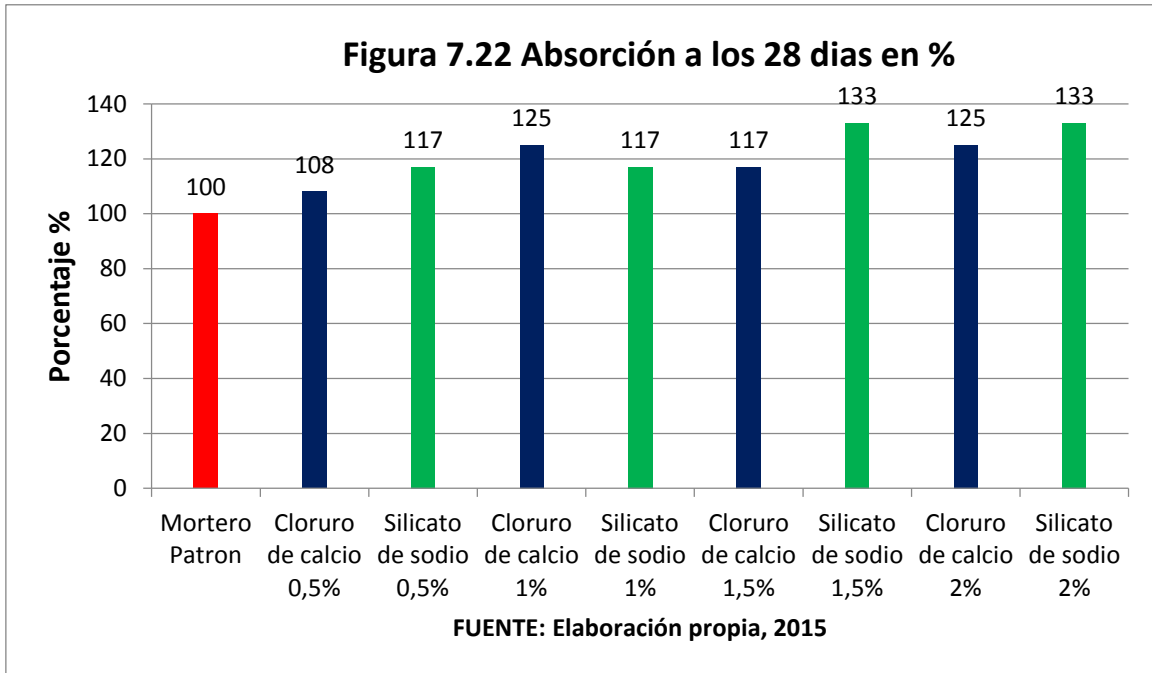
7.8 Resultado ensayo de absorción

Tabla 7.8.1: Resultados ensayo de absorción a los 28 días en (%)

Colada	Absorción (%)	Absorción (%)
P1	12	100
C1	13	108
C2	15	125
C3	14	117
C4	15	125
S1	14	117
S2	14	117
S3	16	133
S4	16	133

Fuente: Elaboración propia, 2015





7.9 Análisis de resultados

Ensayo de densidad del mortero endurecido a 14 días.

Para el caso del mortero de cal con aditivo de cloruro de calcio se registró siempre un aumento que fue en alza en conjunto con mayor cantidad de aditivo, este aumento fue del 101– 104%. Para los morteros de cal con aditivo de silicato de sodio se presentó una disminución en de su densidad en relación al mortero patrón, en sus 2 primeras coladas, para luego ir en aumento a medida que la dosis de aditivo aumenta, la variación registrada en los morteros fue de 97-104%.

Por lo tanto no se observan influencias significativas de los aditivos sobre la densidad aparente de los morteros.

Ensayo de desparramado

Si bien se observan pequeñas diferencias entre el desparramado de los morteros que, en general se encuentran en el intervalo 18,2 mm y 19,5 mm (95% a 102%), estas se pueden considerar irrelevantes, por lo que los aditivos no hacen influencia significativa en esta propiedad de los morteros.

Ensayo de permeabilidad

Debido a que a los 28 días las probetas de 15x15x12 cm no lograron una resistencia adecuada para este ensayo no fue posible medir la permeabilidad tanto del mortero patrón como la de los morteros con aditivo.

Ensayo de flexión

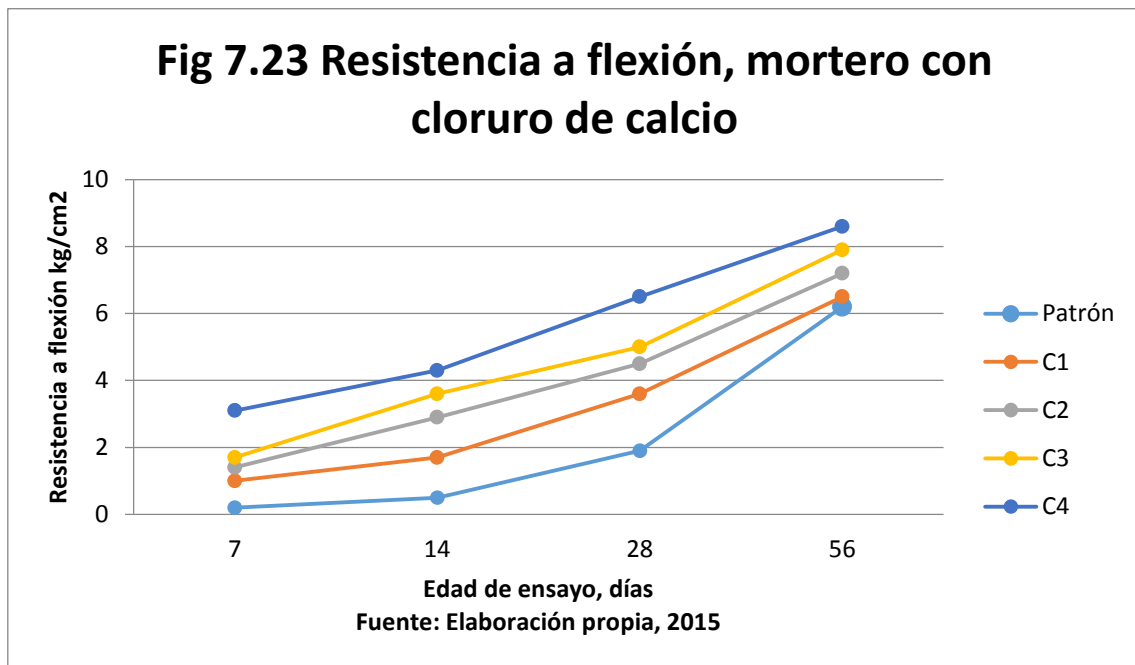
- a) A los 3 días no fue posible obtener resultados debido que al momento de sacar las probetas RILEM estas se rompieron al momento de ser manipuladas, se recomienda dejarlas en los moldes por lo menos 4 días previo a su ensaye.
- b) Para los 7 días y basado en la tabla 7.6.1 y la figuras 7.6 se encuentra los primeros resultados con los aditivos incorporados, se genera un gran incremento que llega hasta el 1550% en el caso del aditivo de cloruro de calcio y un 1650% para el aditivo de silicato de sodio por lo que en ambos casos el aditivo mejora claramente sus resistencia la flexión en relación al mortero patrón. Este incremento fue progresivo en ambos casos y aumento cada vez que se agregó más dosis de cada aditivo.
- c) En lo que respecta a los 14 días y basado en la figura 7.8 se deduce lo siguiente, para el caso del mortero con aditivo de silicato de sodio se aprecia un aumento significativo en todas sus coladas este va del 140 al 760% en relación al mortero patrón mostrando mayor resistencia a la flexión con una mayor dosis del aditivo, en el caso del cloruro de calcio se produjeron aún mayores alzas en los resultados alcanzando una resistencia

860% mayor que la presentada por el mortero patrón, ambos aditivos presentaron mejoras en la resistencia a la flexión siendo el cloruro de calcio el que presentó mejores resultados.

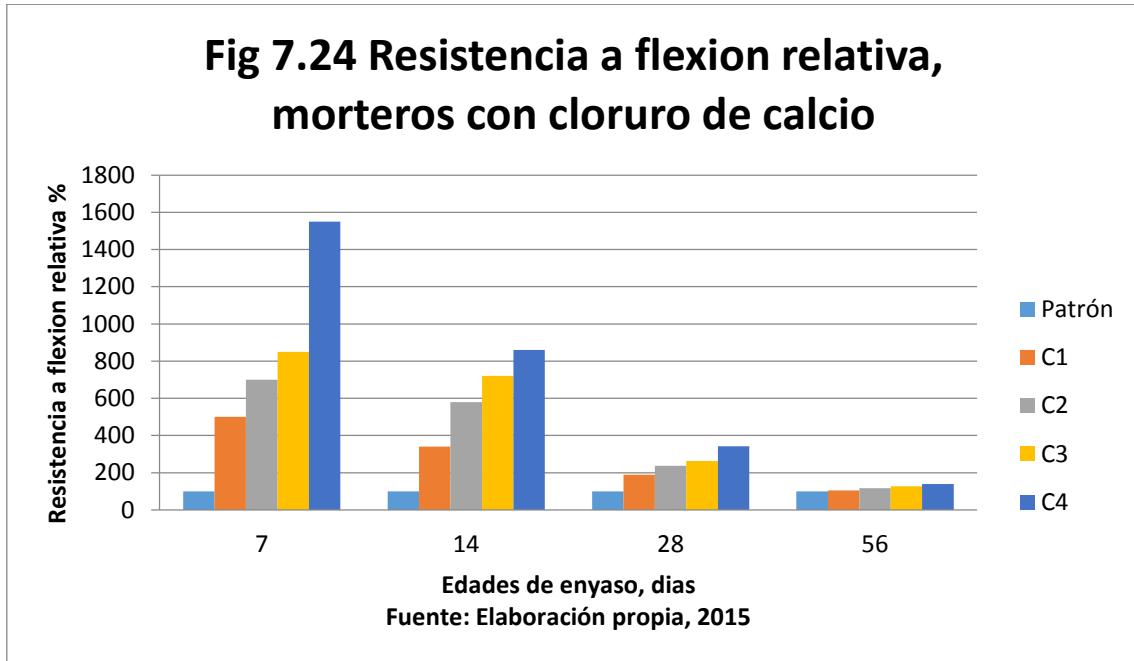
- d) Para los 28 días y basado en la figura 7.10 se puede deducir, que el mortero con aditivo silicato de sodio llega a un aumento que va desde el 116 al 226% con respecto al mortero patrón. En el caso del mortero con aditivo de cloruro de calcio presenta un aumento que oscila entre el 189 y el 342%.
- e) El caso del mortero a los 56 días sigue presentando la tendencia descrita en los demás morteros solo que con mayores valores en cuanto a resistencia a la flexión se refiere.

En relación a la resistencia por flexión a los distintos días se puede deducir que ambos productos catalizadores aumentan la resistencia a flexión y actúan de manera inmediata sobre el mortero, obteniendo rápidos resultados y a medida que aumentan los días va disminuyendo la diferencias que existen entre el mortero patrón y los morteros con aditivos en relación porcentual, pero esto no quiere decir que disminuyan las resistencias obtenidas, además siempre el aditivo de cloruro de calcio presentó mejores resultados en términos de resistencia a la flexión.

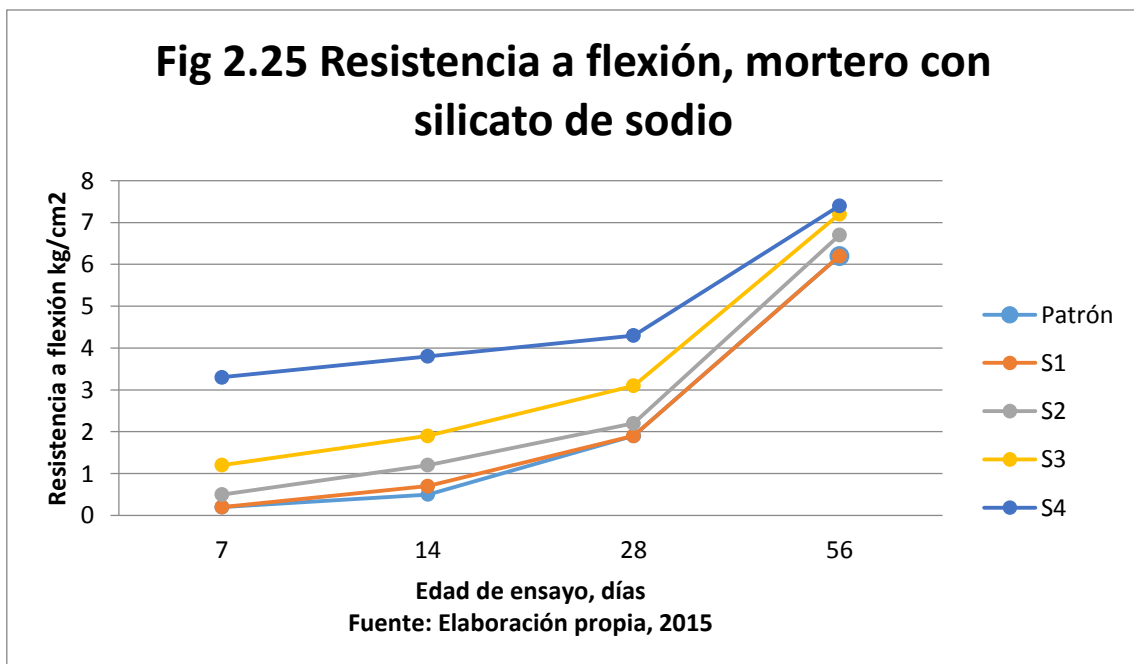
En la figura 7.23 se puede apreciar las diferencias que existen entre el mortero patrón y el mortero con aditivo de cloruro de calcio en relación a su resistencia a la flexión y la cantidad de días de ensayo.



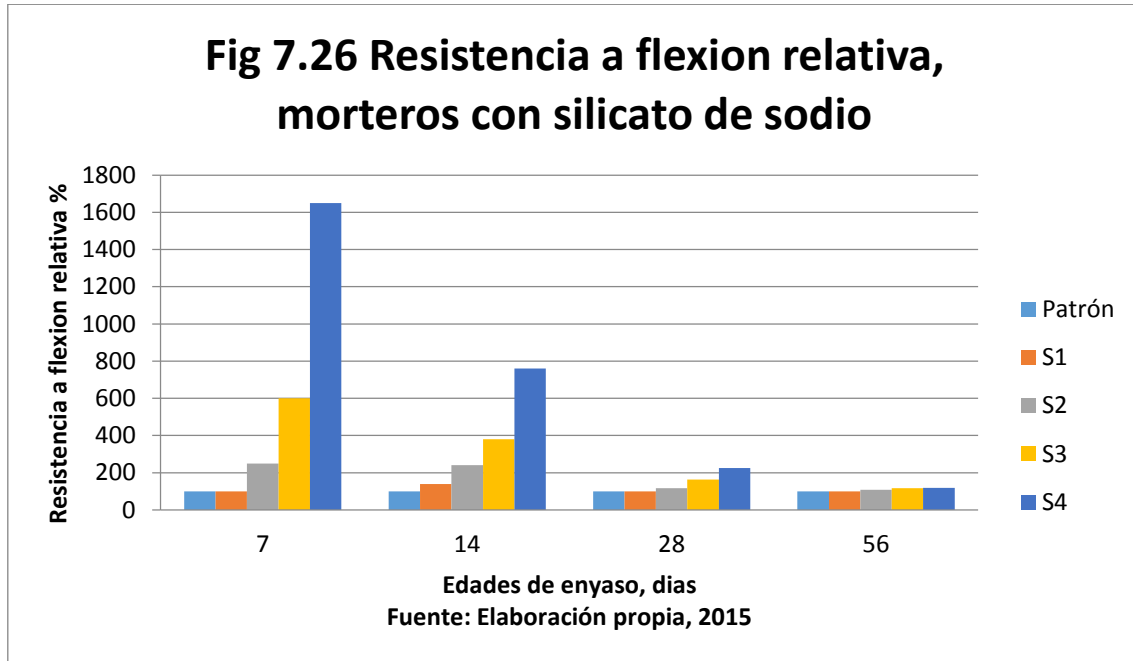
En la figura 7.24 se puede apreciar las diferencias que existen entre el mortero patrón y el mortero con aditivo de cloruro de calcio en relación a su resistencia a la flexión y la cantidad de días de ensayo en forma porcentual



En la figura 7.21 se puede apreciar las diferencias que existen entre el mortero patrón y el mortero con aditivo de silicato de sodio en relación a su resistencia a la flexión y la cantidad de días de ensayo.



En la figura 7.22 se puede apreciar las diferencias que existen entre el mortero patrón y el mortero con aditivo de silicato de sodio en relación a su resistencia a la flexión y la cantidad de días de ensayo en forma porcentual.



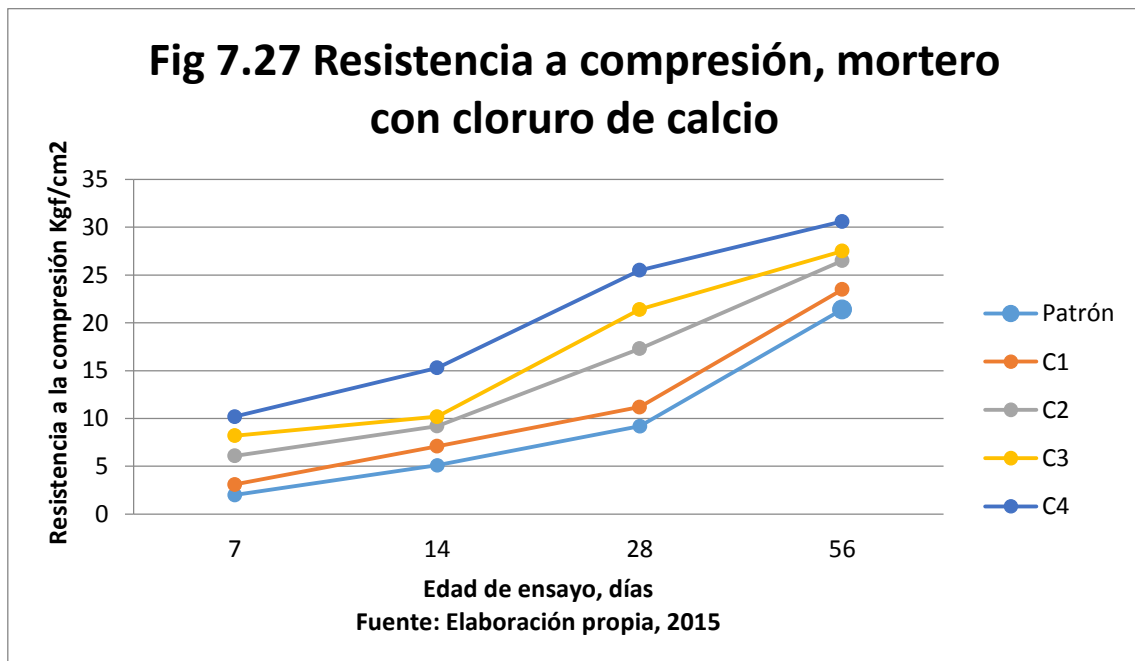
Ensayo de compresión

- a) Debido a que a los 3 días no era posible trabajar con la probeta, no se puede realizar el ensayo a compresión.
- b) A los 7 días se presentan aumentos a la compresión en ambos morteros con aditivo en comparación al mortero patrón, para el caso del cloruro de calcio el incremento va desde un 155% hasta un 510%, mientras que para el caso del mortero con aditivo de silicato de sodio si bien en su primera colada “S1” logra la misma resistencia la compresión que el mortero patrón a medida que se incorpora más aditivo mayor es su resistencia a la compresión, el incremento va desde el 155 al 460%
- c) Para los 14 días y basado en la figuras y tablas se nota lo siguiente, el aumento compresión se presenta para ambos morteros con aditivos y de una forma similar a lo producido con el mortero a los 7 días en el sentido que se presenta un aumento progresivo para el caso del aditivo de cloruro de calcio, mientras que para el aditivo de silicato de sodio en la primera colada “S1” se produce la misma resistencia a la del mortero patrón para luego aumentar a medida que incrementa el nivel de dosis del aditivo

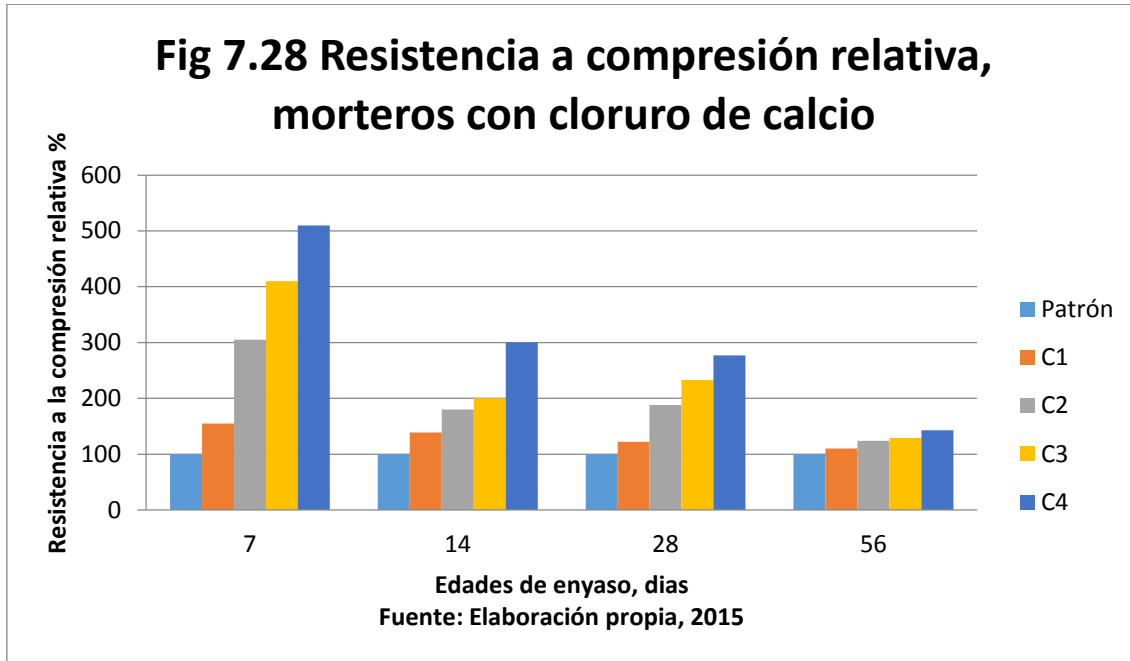
- d) A los 28 días y por los datos obtenidos en la tabla y figura se puede deducir que nuevamente ambos productos catalizadores aumentan la resistencia de forma progresiva a medida que la cantidad de producto que se incorpora aumenta. Para el caso del mortero con aditivo de cloruro de calcio el incremento va desde un 122% al 277% y para el mortero con aditivo de silicato de sodio esta desde el 111% al 222%.
- e) En el caso de los 56 días el mortero sigue con la tendencia presentada en los demás días de ensayos, reduciendo aún más su brecha con el mortero patrón.

Dado los resultados obtenidos tanto en las tabla y figuras de resistencia a la compresión, se puede deducir que ambos productos catalizadores aumentan la resistencia, obteniendo rápidos resultados aún que al igual caso que en la resistencia a la flexión al pasar los días si bien sigue existiendo un claro aumento de resistencias por parte de los morteros con aditivo, esta diferencia va disminuyendo con el tiempo

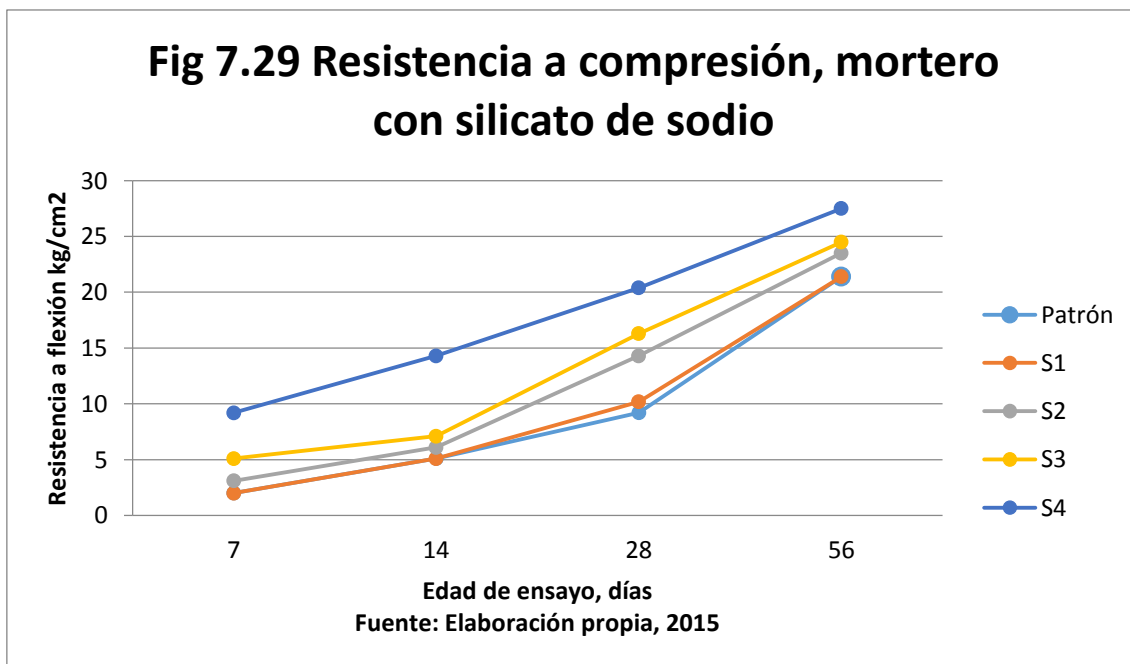
En la figura 7.27 se puede apreciar las diferencias que existen entre el mortero patrón y el mortero con aditivo de cloruro de calcio en relación a su resistencia a la flexión y la cantidad de días de ensayo.



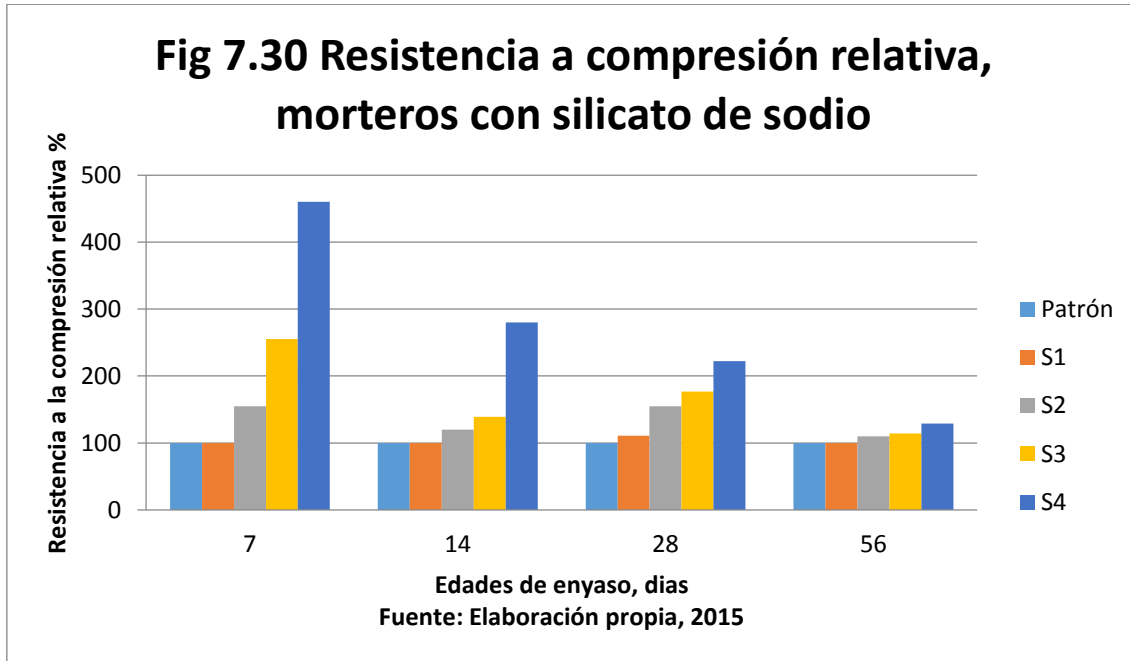
En la figura 7.28 se puede apreciar las diferencias que existen entre el mortero patrón y el mortero con aditivo de cloruro de calcio en relación a su resistencia a la compresión y la cantidad de días de ensayo en forma porcentual.



En la figura 7.29 se puede apreciar las diferencias que existen entre el mortero patrón y el mortero con aditivo de silicato de sodio en relación a su resistencia a la compresión y la cantidad de días de ensayo



En la figura 7.30 se puede apreciar las diferencias que existen entre el mortero patrón y el mortero con aditivo de silicato de sodio en relación a su resistencia a la compresión y la cantidad de días de ensayo en forma porcentual.



Ensayo de absorción capilar a los 28 días.

De acuerdo a la tabla 7.8.1 y figura 7.17 se puede analizar que para ambos catalizadores se produce un aumento en la absorción capilar. Para el caso del mortero con cloruro de calcio tiene un aumento que va hasta desde el 108 al 125%, lo particular es que no se produce de manera progresiva ya que C2 alcanza la misma absorción que la colada C4 que tiene una mayor cantidad del producto.

En lo que respecta al mortero con aditivo de silicato de sodio presenta un aumento que va entre el 117 y el 133% de forma progresiva a medida que se incorpora más aditivo.

CAPITULO VIII: ANALISIS DE COSTO

Para realizar el análisis de costo se hará para una cantidad de en un m³ de mortero de cal, además para la cantidad de cal se dividirá por el contenido de un saco de cal (25 kg) y para la arena se tomara en cuenta el peso de m³ de arena.

Los precios señalados son los que utilice al momento de realizar la investigación y no incluyen el traslado de ellos.

Tabla 8.1: Precios de los materiales.

Material	Costo	Unidad	Precio unitario
Cal	\$ 3.200	Kg	128
Arena	\$ 7.000	Kg	4,55
Cloruro de Calcio	\$ 790	gr	7,9
Silicato de Sodio	\$ 272	gr	2,72

Fuente: Elaboración propia, 2015

Tabla 8.2: Costos directos por m³

Denominación	Costo de cal	Costo de la arena	Costo de Cloruro de calcio	Costo de Silicato de sodio	Costo directo	%
MP	\$22.400	\$6.790	-	-	\$29.190	100
C1	\$22.400	\$6.790	\$640	-	\$29.830	102
C2	\$22.400	\$6.790	\$1.280	-	\$30.470	104
C3	\$22.400	\$6.790	\$1.920	-	\$31.110	107
C4	\$22.400	\$6.790	\$2.560	-	\$31.750	109
S1	\$22.400	\$6.790	-	\$218	\$29.408	101
S2	\$22.400	\$6.790	-	\$436	\$29.626	101
S3	\$22.400	\$6.790	-	\$654	\$29.844	102
S4	\$22.400	\$6.790	-	\$872	\$30.062	103

Fuente: Elaboración propia, 2015

CAPITULO IX: CONCLUSIONES

El comportamiento del desarrollo de la resistencia mecánica del mortero de cal va de manera progresiva y siempre en aumento con ambos aditivos. En una primera instancia los aditivos impactan de gran manera la mezcla de mortero logrando en ellas sus máximas alzas siempre en respecto al mortero patrón. Al pasar los días el comportamiento se mantiene presentado alzas pero la diferencia que presenta con respecto al mortero patrón disminuye.

Debido a que no fue posible realizar el ensayo de permeabilidad no se pudo concluir el efecto de los catalizadores en la mezcla en el caso de la permeabilidad, por lo que se recomienda realizar el ensayo con más días que los recomendados por la norma NCh 2262 of 09 que sugiere 28 días.

En lo que respecta a la densidad aparente si bien varía esta variación no fue significativa debido a que los resultados no exceden en un mayor porcentaje al mortero patrón aun que claramente va en un mínimo aumento debido a que si se aporta más cantidad de aditivo el peso de la mezcla aumentara y por ende su densidad.

El desparcamiento varía pero siempre dentro del rango del mortero patrón su variación es mínima y no tiene relación la cantidad de aditivo tanto de cloruro de calcio como silicato de sodio agregado a la mezcla.

La absorción capilar sufrió aumentos con ambos productos catalizadores pero no fueron valores representativos como para influir en la mezcla.

Por lo que el efecto de los dos productos catalizadores como el cloruro de calcio y silicato de sodio en el mortero de cal es el de aumentar su resistencia mecánicas de manera inmediata y de forma considerable

En lo que respecta al costo económico si bien aumenta por el precio propio de los materiales, esta alza no es considerable teniendo en cuenta los excelentes resultados que otorgan ambos aditivos.

Dado los resultados obtenidos por los morteros de cal con aditivo ambos cumplen con la normativa NCh 2256: Requisitos generales, para ser utilizado como un mortero para revestimiento interior o un mortero para albañilería y de una consistencia plástica.

Bibliografía

- Barba, L. y Córdova F. (1999). Estudios energéticos de la producción de cal en tiempos teotihuacanos sus implicaciones. Estados Unidos. Washington. [s/n]
- Conci F y Basso A. (2007). Producción conjunta de silicato de sodio y derivados. Universidad nacional de Córdoba. Córdoba. Argentina.
- Egaña, J. y Zabaleta, H. (1989). Manual del mortero instituto chileno del cemento y del hormigón. Santiago, Chile [s/n].
- González Lozano, A (2008). De la cal al cemento portland. Madrid. España. [s/n].
- González Tascón, I. and Velázquez, I. (2005). Ingeniería romana en Hispania. España. Madrid. [s/n]
- López, E. (2008). Guía para morteros de cal Instituto tecnológico de la construcción. Madrid. España [s/n]
- Saavedra, A. (2012). Tendencias en mortero. Revista Bit. Escáner tecnológico, 82, 55-58.
- Sánchez, D. (2001). Tecnología del concreto y del mortero. Pontificia universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.
- Orobio A. (2007) Evaluación del cloruro de calcio como agente mitigador. Universidad del Valle. Cali. Colombia.
- Vera, J. (1999). Inclusión de aditivos plastificantes, o cal en morteros predosificados y/o premezclados. Memoria para optar al Título de Ingeniero en Construcción. Universidad de Valparaíso, Valparaíso, Chile
- Villaseñor, I (2013). La cal: Historia, propiedades y usos. Universidad nacional autónoma de México, Ciudad de México. México

Normativas utilizadas.

- NCh 1038 of 2009: Hormigón – Ensayo de tracción por flexión.
- NCh 2256 of 2013: Morteros – Parte 1: requisitos generales.
- NCh 1037 of 2009: Hormigón de compresión de probetas cubicas y cilíndricas.
- NCh 163 of 2013: Áridos para morteros y hormigones – Requisitos
- NCh 1239 of 2009: Áridos para morteros y hormigones – Determinación de la densidad real y neta y de la absorción de agua de las arenas.
- NCh 1326 of 2012: Áridos para morteros y hormigones. Determinación de huecos
- NCh 1116 of 2008: Densidad aparente de los áridos.
- NCh 1017 of 2009: Hormigón – Confección en obra y curado de probetas para ensayos de compresión, tracción por flexión y por hendimiento.
- NCh 2262 of 1997: Hormigón y mortero – Determinación de la impermeabilidad al agua, método de la penetración de agua bajo presión.
- Norma DIN 1048, 1ª parte, Métodos de ensayo para hormigón y morteros.