



Escola Politècnica Superior
d'Edificació de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

MÁSTER UNIVERSITARIO EN CONSTRUCCIÓN AVANZADA EN LA EDIFICACIÓN

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

APLICACIÓN DE FIBRAS VEGETALES DE NO TEJIDO COMO REFUERZO EN MORTEROS DE CAL PARA LA RESTAURACIÓN DE EDIFICIOS HISTÓRICOS.

Projectista: Ing. Rafael Norberto Ozuna Cedeño.

Directores: Juan Ramón Rosell Amigó / Josep Claramunt Blanes

Convocatoria: junio/julio 2018.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	7
RESUMEN	8
ABSTRACT	9
1 INTRODUCCIÓN	10
2 OBJETIVOS	11
2.1 Objetivo general	11
2.2 Objetivos específicos	11
3 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	13
3.1 La cal	13
3.1.1 Cal aérea.....	13
3.1.2 Cales con propiedades hidráulicas	16
3.2 Adiciones	21
3.3 Materiales compuestos	22
3.3.1 Compuestos reforzados con partículas.....	23
3.3.2 Compuestos reforzados con fibras	23
3.3.3 Compuestos estructurales.....	24
3.4 Refuerzos con fibras vegetal.....	25
3.4.1 Materiales compuestos reforzados con fibras vegetal	25
3.4.2 No tejidos de fibras vegetales	26
4 ESTADO DEL ARTE	28
5 CAMPAÑA EXPERIMENTAL	31
6 METODOLOGÍA	33
6.1 Materia Prima.....	33
6.1.1 Cal Hidráulica	33
6.1.2 Cal en Pasta.....	34
6.1.3 Metacaolín.....	35
6.1.4 Fibra natural	35
6.1.5 Agua.....	36
6.1.6 Desencofrante	37
6.2 Procedimiento de elaboración de la muestra	37
6.2.1 Tratamiento previo de la fibra.....	37
6.2.2 Metodología de elaboración de las muestras.	38

6.2.3	Proceso de curado	40
6.2.4	Método de ensayo	42
7	RESULTADOS	46
7.1	Dosificación de las muestras.....	46
7.2	Ensayo de resistencia a flexión.....	47
7.2.1	Matriz sin refuerzo.....	47
7.2.2	Matrices reforzadas.....	49
7.2.3	Reforzadas sobre ladrillo	52
7.3	Caracterización Micro-estructural.....	54
7.3.1	Matriz.....	54
7.3.2	Fibra	62
8	CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES	64
8.1	Ensayo de Resistencia Mecánica	64
8.2	Ensayo Microestructural.....	65
8.3	Recomendaciones	66
9	BIBLIOGRAFÍA	67
9.1	Normativas Utilizadas	69
10	ANEXOS	70

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 - Molde de metacrilato.....	31
Ilustración 2 – Saco de 35 kg Cal Hidráulica Saint-Astier.	34
Ilustración 3 – Saco 20 kg Cal en Pasta DCAL	34
Ilustración 4 – Rollo de Fibra de no Tejido de Lino.	36
Ilustración 5 – Desencofrante Sika.....	37
Ilustración 6 – ciclo húmedo de la fibra previa a su puesta en ejecución.	37
Ilustración 7 – Preparación de la fibra para el Horno.	38
Ilustración 8 – Molde para Matriz sin Refuerzo	38
Ilustración 9 - Mojado previo.	39
Ilustración 10 - Aplicación de la pasta a la fibra.	39
Ilustración 11 - Molde para la aplicación del vacío a la fibra.	39
Ilustración 12 - Probeta colocada sobre el molde de metacrilato.	39

Ilustración 13 - Máquina de Climatización.....	40
Ilustración 14 - Diagrama de flujo proceso de carbonatación acelerada	41
Ilustración 15 - Autoclave para carbonatación acelerada.....	42
Ilustración 16 - Prensa Matriz sin Reforzar.	43
Ilustración 17 - Prensa Matriz Reforzada.	43
Ilustración 18 - Microscopio Electrónico	44
Ilustración 19 - Muestras en Resina Epoxi.	45
Ilustración 20 - Ensayo a flexión probetas reforzadas 4 capas.	49
Ilustración 21 - Ensayo a flexión probetas reforzadas 5 capas.	49
Ilustración 22 - Ensayo a flexión matriz sobre ladrillo.....	52
Ilustración 23 - Estudio micro estructural de la matriz.	54
Ilustración 24 - Estudio micro estructural de la matriz.	54
Ilustración 25 - Estudio micro estructural de la matriz.	55
Ilustración 26 - Estudio micro estructural de la matriz.	56
Ilustración 27 - Estudio Micro estructural Matriz.....	58
Ilustración 28 - Estudio Micro estructural Matriz.....	60
Ilustración 29 - Estudio micro estructural de la fibra.....	62
Ilustración 30 - Estudio micro estructural de la fibra.....	62
Ilustración 31 - Estudio micro estructural de la fibra.....	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de cales cálcicas.	14
Tabla 2 - Requisitos químicos para la cal cálcica en valores característicos.	15
Tabla 3 - Tipos de cales dolomíticas.	15
Tabla 4 - Requisitos químicos para la cal dolomítica en valores característicos.	16
Tabla 5- Tipos de cales hidráulicas naturales.	17
Tabla 6 - Requisitos químicos para la cal hidráulica natural.	17
Tabla 7 – Requisitos de resistencia normalizada para la cal hidráulica natural.	18
Tabla 8 – Tipos de cales formuladas.....	18
Tabla 9 – Requisitos químicos para la cal formulada.....	19
Tabla 10 – Requisitos de resistencia normalizada para la cal formulada.....	19
Tabla 11 – Tipos de cales hidráulicas.	20
Tabla 12 – Requisitos químicos para la cal formulada.....	20

Tabla 13 – Requisitos de resistencia normalizada para la cal formulada.....	21
Tabla 14 – Matrices a investigar.	33
Tabla 15 – Propiedades Físico Cal Hidráulica.	33
Tabla 16 - Propiedades físico-químicas del Metacaolín.	35
Tabla 17 – Dosificación matrices sin reforzar.....	46
Tabla 18 – Dosificación matrices reforzadas.....	46
Tabla 19 – Dosificación matrices reforzadas sobre ladrillo.	47
Tabla 20 – Valores obtenidos del ensayo a flexión	47
Tabla 21 - Valores obtenidos del ensayo a flexión	49
Tabla 22 - Valores obtenidos del ensayo a flexión	52
Tabla 23 – Resultados de Spectrums – Ilustración 25.	56
Tabla 24 – Resultados del Spectrum – Ilustración 26.	58
Tabla 25 – Resultados del Spectrum - Ilustración 27.....	60

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1 - Cronograma del ciclo de curado.....	40
Gráfica 2 – Todas las matrices.....	47
Gráfica 3 – Comparación del MOE las matrices.	48
Gráfica 4 - Comparación del LOP y el MOR de las matrices sin refuerzos.	48
Gráfica 5 – Todas las matrices reforzadas 4 capas.	49
Gráfica 6 – Todas las matrices reforzadas 5 capas.	50
Gráfica 7 – Comparación del MOE matrices reforzadas.	50
Gráfica 8 – Comparación LOP matrices reforzadas.	51
Gráfica 9 – Comparación MOR matrices reforzadas.....	51
Gráfica 10 – Todas las matrices reforzadas sobre ladrillo.....	52
Gráfica 11 - Comparación MOE matrices sobre ladrillo.	53
Gráfica 12 - Comparación LOP y MOR matrices sobre ladrillo.	53
Gráfica 13 - para Valores Spectrum 1.....	57
Gráfica 14 - para Valores Spectrum 2.....	57
Gráfica 15 - para Valores Spectrum 3.....	57
Gráfica 16 – Resultados Spectrum 1.....	59
Gráfica 17 – Resultados Spectrum 2.....	59

Gráfica 18 – Resultados Spectrum 3.....	59
Gráfica 19 - Resultados Spectrum 1.	61
Gráfica 20 – Resultados Spectrum 2.....	61
Grafica 21 – Resultados Spectrum 3.....	61

AGRADECIMIENTOS

Después de un intenso período, hoy es el día: escribo este apartado de agradecimientos para finalizar mi trabajo de fin de master. Ha sido un período de aprendizaje intenso, no solo en el campo científico, sino también a nivel personal.

Escribir este trabajo ha sido de gran importancia para mi vida académica y es por eso que me gustaría agradecer a todas aquellas personas que me han ayudado y apoyado durante este proceso.

En primer lugar, me gustaría agradecer a mis directores del trabajo final de master Juan Ramón Rosell Amigó y Josep Claramunt Blanes por su colaboración. Me habéis apoyado enormemente, me habéis brindado todas las herramientas necesarias para completar mi trabajo de fin de master satisfactoriamente y siempre habéis estado ahí para ayudarme cuando lo necesitaba.

También me gustaría agradecer a mis amigos. No solo habéis estado ahí para apoyarnos entre nosotros en los momentos cruciales, sino que también hemos tenido charlas sobre otras cosas no relacionadas con la universidad y master.

Finalmente, a mis padres por sus sabios consejos y su comprensión. En especial mi preciosa madre, mi bastón y mi sostén, mi ejemplo a seguí y quien me anima a cumplir mis metas, gracias por siempre estar ahí para mí. A mi familia gracias por apoyarme. Los amo mucho.

¡Muchas gracias a todos!

RESUMEN

En la actualidad, la conservación de elementos arquitectónicos tanto en rehabilitación como en restauración de edificios son de las principales aplicaciones de la cal. Este motivo ha llevado a su investigación para conseguir un material compuesto que permita mejorar sus características mecánicas.

En esta investigación emplearemos un refuerzo de fibra, puesto que las fibras forman parte esencial de los principales materiales compuestos utilizados actualmente en la construcción de edificios. Tomando en consideración el impacto ambiental de la mayoría de los componentes de las fibras comunes, utilizaremos como refuerzo un no tejido de fibra de lino para el estudio de los morteros de cal que se han planteado en este trabajo.

Algunas de las ventajas de utilizar este tipo de fibra no tejida de lino son: su ligereza, resiliencia, resistencia al desgaste y un comportamiento anisotrópico; variando principalmente según el grado de ordenamiento de la fibra en el interior del material.

Con este trabajo de investigación buscamos establecer cuál es el comportamiento de este no tejido con la cal, a partir de una serie de ensayos de laboratorio realizados en la Escuela Politécnica Superior de Edificaciones de Barcelona (EPSEB) y la Escuela Superior de Agricultura de Barcelona (ESAB) con la finalidad de proponer una mejora a las características del material compuestos y así poder optimizar su aplicación como material de construcción.

Los resultados obtenidos en la campaña experimental de este trabajo indican que al aumentar el número de capas de las fibras de lino y al optimizar la dosificación de las materias primas que forman la matriz de cal, se puede apreciar una mejora en el comportamiento a flexión y en la resistencia mecánica del material a pesar de la poca interacción entre las fibras y la matriz, por lo cual se plantea para futuras líneas de investigación una serie de mejoras para consolidar este material compuesto de una forma más homogénea.

ABSTRACT

Currently, the conservation of architectural elements in both rehabilitation and restoration of buildings are the main applications of lime. This reason has led to his research to obtain a composite material that allows to improve its mechanical characteristics.

In this research we will use fiber reinforcement, since fibers are an essential part of the main composite materials currently used in building construction. Taking into consideration the environmental impact of most of the components of common fibers, we will use as a reinforcement a nonwoven of flax fiber for the study of lime mortars that have been raised in this work.

Some of the advantages of using this type of non-woven linen fiber are: its lightness, resilience, wear resistance and anisotropic behavior; varying mainly according to the degree of ordering of the fiber inside the material.

With this research work we seek to establish what is the behavior of this non-woven with lime, from a series of laboratory tests carried out at the School of Polytechnics of Buildings of Barcelona (EPSEB) and the School of Agriculture of Barcelona (ESAB) in order to propose an improvement to the characteristics of the composite material and thus be able to optimize its application as a construction material.

The results obtained in the experimental campaign of this work indicate that by increasing the number of layers of flax fibers and by optimizing the dosage of the raw materials that form the lime matrix, an improvement in bending behavior can be observed. in the mechanical strength of the material despite the little interaction between the fibers and the matrix, so that a series of improvements to consolidate this composite material in a more homogeneous way is planned for future lines of research.

1 INTRODUCCIÓN

La cal es un material que ha estado unido a la historia de la construcción de edificios desde el inicio de los tiempos, incluso hoy en día su aplicación es habitual, aunque gracias al pasar de los años y a las innovaciones tecnológicas con nuevas aplicaciones y usos, mejorando sus habilidades conocidas.

En el patrimonio arquitectónico de España, los productos derivados de la cal tienen una aplicación muy habitual desde revestimientos, elementos estructurales hasta elementos decorativos, por esto el conocimiento de sus distintas características es vital y aún más su correcto desarrollo en técnicas de restauración.

La conservación de elementos arquitectónicos y la incorporación de diversos productos en rehabilitaciones y restauraciones de edificios son los principales ejes de actuación de la cal actualmente. La cal ha tenido usos diversos a través de los años en las distintas áreas de la construcción tal es el caso de la estabilización de los suelos, entre otras [7].

La gran variedad de materiales compuestos que existen en la actualidad dan paso a la posibilidad de ampliar los usos de la cal y de llegar a utilizar la cal como un material compuesto, el cual puede ser combinado para mejorar sus características mecánicas haciéndolo más útil y apto como material de construcción.

En la actualidad las fibras son uno de los componentes principales de los morteros compuestos brindando distintas características de acuerdo al tipo de fibra utilizada en el compuesto. Debido al impacto medioambiental generado por agentes químicos se ha empezado a utilizar en los últimos años las fibras procedentes de materiales orgánicos.

Para esta investigación nos enfocaremos al estudio de las características mecánicas que puede aportar un no tejido de fibra de lino como refuerzo, pensando en su aplicabilidad en el área de restauración de edificios.

2 OBJETIVOS

2.1 *Objetivo general*

El objetivo general de este trabajo final del Máster Universitario de Construcciones Avanzadas consiste en analizar el comportamiento y mejoras que puede proporcionar el no tejidos de fibras de lino, como refuerzo en la elaboración de morteros de cal. También se determinará dentro de una serie de matrices cuál dosificación de las materias primas es la más adecuada, con el fin de mejorar la resistencia de los componentes que integran la matriz de cal y evaluar su posible utilización en restauración de edificios históricos.

2.2 *Objetivos específicos*

Los objetivos específicos que se llevarán a cabo durante este trabajo de investigación, son los siguientes:

1) Dosificación de las materias primas.

- En la matriz de cal: Seleccionar los componentes para las matrices de cal a elegir, así como la correcta dosificación de los mismos.
- En las fibras de refuerzo: Seleccionar el número de capas más adecuado para el uso de los no tejidos como refuerzo del material compuesto.

2) Elaboración de las matrices de cal.

Una vez establecidas las matrices proceder a elaborar probetas sin el uso del no tejido de lino como refuerzo, para determinar que dosificación es la mejor. Posteriormente, en búsqueda de un método de colocación in situ, realizar probetas con el no tejido de lino como refuerzo, analizando cuál de las matrices se comporta mejor con el no tejido, y las ventajas que dicho refuerzo puede proporcionar a nuestras matrices.

3) Determinación de resistencias mecánicas.

Mediante el ensayo de resistencia a flexión evaluar las propiedades de cada una de las matrices realizadas, para así poder determinar cuáles han sido los resultados más óptimos de acuerdo con las dosificaciones utilizadas.

4) Estudio micro estructural de las probetas.

Mediante el uso del microscopio electrónico de barrido (SEM), estudiar detalladamente la relación entre la matriz de cal y las fibras de refuerzo, en cada una de las matrices realizadas. También identificar el grado de penetración que existe, el grado de dispersión de las fibras y la homogeneidad del material compuesto.

3 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

En este apartado intentamos establecer el estado actual de la cal como material de construcción y los *composites* con fibras destacando los refuerzos con no tejido vegetal. Para esto se han consultado distintas fuentes con el propósito de brindar un panorama claro y facilitar de esa manera el entendimiento de los procesos realizados en este estudio.

3.1 La cal

La cal es el resultado de la descomposición térmica (calcinación) del carbonato cálcico natura, este se puede presentar como caliza, creta o conchas, también puede obtenerse cal a partir del carbonato cálcico y magnesio natural, a partir de la caliza dolomítica y la dolomita. Las cales están regulada y normalizadas en Europa por la Norma UNE, conforme con la Norma europea EN 459.

La cal se agrupa exclusivamente en dos familias: cal aérea y cal con propiedades hidráulicas, usadas comúnmente en distintas aplicaciones como materiales de construcción tanto en edificación como en ingeniería civil.

3.1.1 Cal aérea

En la obtención de la cal aérea si la composición química de la piedra caliza supera el 95% de carbonato cálcico, esta se denomina “Cálcica (CL)” y si está compuesta químicamente por más de un 5% de magnesio es denominada “Dolomita (DL)”. Entre las formas más conocidas de la cal aérea se encuentran las cales vivas y las cales hidratadas.

Las cales vivas (Q) se encuentran principalmente en forma de óxido que reacciona exotérmicamente en contacto con el agua. Se encuentran disponibles en distintas granulometrías que van desde terrones a polvo.

Las cales hidratadas (S, S PL, S ML) se encuentran principalmente en forma de hidróxido producidas por el apagado controlado de las cales vivas, se encuentran disponibles en:

- Polvo (S).
- Pasta (S PL).
- Suspensión o lechada de cal (S ML).

Existe también la cal dolomítica hidratada (S1) que se constituye principalmente de hidróxido de calcio y óxido de magnesio.

La cal aérea al ser amasada y mezclada con agua de forma apropiada, forma una pasta que mejora la trabajabilidad y la retención de agua de los morteros.

3.1.1.1 Cales cálcicas

Las cales cálcicas se clasifican en función de su contenido total de (CaO + MgO) de acuerdo con la *Tabla 1*.

Tabla 1. Tipos de cales cálcicas.

Designación	Notación
Cal cálcica 90	CL 90
Cal cálcica 80	CL 80
Cal Cálcico 70	CL 70

Fuente: Norma UNE EN 459-1:2015

Los requisitos químicos para cada una de los tipos de cal cálcica antes mencionadas se muestran en la *Tabla 2*, cabe destacar que los valores de (CaO+MgO, MgO, CO₂, SO₃) que se mostraran en la *Tabla 2* se aplican para todos los tipos de cal cálcica. Para todos los demás tipos (Cal hidratadas, cal en pasta, lechada de cal) los valores se refieren al producto exento de agua libre y de agua combinada.

Tabla 2 - Requisitos químicos para la cal cálcica en valores característicos.

Tipo de cal cálcica	Valores expresados como fracciones de masas, en tanto por ciento				
	CaO + MgO	MgO	CO ₂	SO ₃	Cal útil
CL 90	≥ 90	≤ 5	≤ 4	≤ 2	≥ 80
CL 80	≥ 80	≤ 5	≤ 7	≤ 2	≥ 65
CL 70	≥ 70	≤ 5	≤ 12	≤ 2	≥ 55

Fuente: Norma UNE EN 459-1:2015

3.1.1.2 Cales dolomíticas

Al igual que las cales cálcicas, las cales dolomíticas se clasifican en función de su contenido total de CaO + MgO de acuerdo a la Tabla 3.

Tabla 3 - Tipos de cales dolomíticas.

Designación	Notación
Cal dolomítica 90-30	DL 90-30
Cal dolomítica 90-5	DL 90-5
Cal dolomítica 85-30	DL 85-30
Cal dolomítica 80-5	DL 80-5

Fuente: Norma UNE EN 459-1:2015

Los requisitos químicos para cada una de los tipos de cales dolomíticas antes mencionadas se muestran en la *Tabla 4*, cabe destacar que los valores de (CaO + MgO, MgO, CO₂, SO₃) que se mostraran en la *Tabla 4* se aplican para todos los tipos de cal dolomítica. Para la cal dolomítica hidratada (S1) los valores se refieren al producto exento de agua libre y de agua combinada.

Tabla 4 - Requisitos químicos para la cal dolomítica en valores característicos.

Tipo de cal dolomítica	Valores expresados como fracciones de masas, en tanto por ciento			
	CaO + MgO	MgO	CO ₂	SO ₃
DL 90-30	≥ 90	≥ 30	≤ 6	≤ 2
DL 90-5	≥ 90	> 5	≤ 6	≤ 2
DL 85-30	≥ 85	≥ 30	≤ 9	≤ 2
DL 80-5	≥ 80	> 5	≤ 9	≤ 2

Fuente: Norma UNE EN 459-1:2015

3.1.2 Cales con propiedades hidráulicas

La cal hidráulica es una mezcla de óxido de calcio, silicatos y aluminatos cálcicos, en la cual el óxido de calcio reacciona al contacto con el dióxido de carbono de forma aérea, mientras que los silicatos y aluminatos reaccionan al contacto con el agua formando silicatos y aluminatos cálcicos hidratados aportando propiedades hidráulicas a la cal. esta posee un fraguado inicial y se clasifica según su resistencia mecánica a compresión, teniendo un rango de contenido de cal útil definido.

Las cales con propiedades hidráulicas se agrupan en distintas familias como son:

- Cales hidráulicas naturales (NHL).
- Cales formuladas (FL).
- Cales hidráulicas (HL).

3.1.2.1 Cal hidráulica natural

Esta es una cal con propiedades hidráulicas producidas por la calcinación de calizas más o menos arcillosas o silíceas, reducida a polvo mediante el apagado con o sin molienda. Sus propiedades hidráulicas son el resultado exclusivo de la composición química especial de la materia prima natural y de la temperatura de coacción.

Las cales hidráulicas naturales se clasifican en función a su resistencia a compresión, de acuerdo a la *Tabla 5*.

Tabla 5- Tipos de cales hidráulicas naturales.

Designación	Notación
Cal hidráulica natural 2	NHL 2
Cal hidráulica natural 3,5	NHL 3,5
Cal hidráulica natural 5	NHL 5

Fuente: Norma UNE EN 459-1:2015

Los requisitos químicos para los tipos de cales hidráulicas naturales se determinan en conformidad con la Norma EN 459-2, al igual que las demás cales, expresadas en la *Tabla 6*. Los valores de SO₃ expresados en la tabla 6 se refieren al producto exento de agua libre y de agua combinada.

Tabla 6 - Requisito químicos para la cal hidráulica natural.

Tipo de cal hidráulica natural	SO ₃	Cal útil como Ca(OH) ₂ según el apartado 5.8 de la Norma EN 459-2:2010
		Valores en fracción de masa en porcentaje.
NHL 2	≤ 2	≥ 35
NHL 3,5	≤ 2	≥ 25
NHL 5	≤ 2	≥ 15

Fuente: Norma UNE EN 459-1:2015

El requisito físico de las distintas cales hidráulicas naturales es la resistencia a compresión normalizadas mediante la Norma EN 459-2, de acuerdo con la *Tabla 7*.

Tabla 7 – Requisitos de resistencia normalizada para la cal hidráulica natural.

Tipo de cal hidráulica natural	Resistencia a compresión (MPa)	
	7 días	28 días
NHL 2	-	≥ 2 a ≤ 7
NHL 3,5	-	$\geq 3,5$ a ≤ 10
NHL 5	≥ 2	≥ 5 a ≤ 15

Fuente: Norma UNE EN 459-1:2015

3.1.2.2 Cales formuladas

Esta cal posee propiedades hidráulicas constituidas principalmente por cal aérea (CL) y/o cal hidráulica natural (NHL) con material hidráulico y/o puzolánico añadido.

Las cales formuladas se clasifican en función de su contenido de cal útil, de acuerdo a la *Tabla 8*.

Tabla 8 – Tipos de cales formuladas.

Designación	Notación
Cal formulada A 2	FL A 2
Cal formulada A 3,5	FL A 3,5
Cal formulada A 5	FL A 5
Cal formulada B 2	FL B 2
Cal formulada B 3,5	FL B 3,5
Cal formulada B 5	FL B 5
Cal formulada C 2	FL C 2
Cal formulada C 3,5	FL C 3,5
Cal formulada C 5	FL C 5

Fuente: Norma UNE EN 459-1:2015

Los requisitos químicos de las cales formuladas se determinan de acuerdo a su contenido de cal útil y SO₃ de acuerdo con la *Tabla 9* Los valores de SO₃ encontrados en la tabla 9 se refieren al producto exento de agua libre y de agua combinada.

Tabla 9 – Requisitos químicos para la cal formulada.

Tipo de cal formulada	SO ₃	Cal útil como Ca(OH) ₂ según el apartado 5.8 de la Norma EN 459-2:2010
		Valores en fracción de masa en porcentaje.
FL A	≤ 2	≥ 40 a < 80
FL B	≤ 2	≥ 25 a < 50
FL C	≤ 2	≥ 15 a < 40

Fuente: Norma UNE EN 459-1:2015

El requisito físico de las distintas cales formuladas es la resistencia a compresión que se establecen de acuerdo con la *Tabla 10*.

Tabla 10 – Requisitos de resistencia normalizada para la cal formulada.

Tipo de cal formulada	Resistencia a compresión (MPa)	
	7 días	28 días
Todos los tipos de FL 2	-	≥ 2 a ≤ 7
Todos los tipos de FL 3,5	-	≥ 3,5 a ≤ 10
Todos los tipos de FL 5	≥ 2	≥ 5 a ≤ 15

Fuente: Norma UNE EN 459-1:2015

3.1.2.3 Cales hidráulicas

Estas cales hidráulicas son conglomerantes constituidos por cal y otros materiales tales como cemento, escorias de alto horno, cenizas volantes, *filler*¹ cálcico y otros materiales adecuados. Estas cales se clasifican en función de su resistencia a compresión expresada en la *Tabla 11*.

Tabla 11 – Tipos de cales hidráulicas.

Designación	Notación
Cal hidráulica 2	HL 2
Cal hidráulica 3,5	HL 3,5
Cal hidráulica 5	HL 5

Fuente: Norma UNE EN 459-1:2015

Los requisitos químicos de las cales hidráulicas se determinan de acuerdo a su contenido de cal útil y SO₃ de acuerdo con la *Tabla 12*. Los valores de SO₃ encontrados en la *Tabla 12* se refieren al producto exento de agua libre y de agua combinada. Estas cales pueden contener aditivos en pequeñas cantidades para mejorar la fabricación o las propiedades hidráulicas. A este tipo de cal se le acepta un contenido de SO₃ superior al 3% e inferior al 7% siempre y cuando se establezca la estabilidad a los 28 días de acuerdo con la Norma EN 459-2:2010.

Tabla 12 – Requisito químicos para la cal formulada.

Tipo de cal hidráulica	SO ₃	Cal útil como Ca(OH) ₂ según el apartado 5.8 de la Norma EN 459-2:2010
	Valores en fracción de masa en porcentaje.	
HL 2	≤ 3	≥ 10
HL 3,5	≤ 3	≥ 8
HL 5	≤ 3	≥ 4

Fuente: Norma UNE EN 459-1:2015

¹ Se define como filler la fracción mineral que pasa por el tamiz 0,080.

El requisito físico de las distintas cales formuladas es la resistencia a compresión que se establecen de acuerdo con la *Tabla 13*.

Tabla 13 – Requisitos de resistencia normalizada para la cal formulada.

Tipo de cal hidráulica	Resistencia a compresión (MPa)	
	7 días	28 días
HL 2	-	≥ 2 a ≤ 7
HL 3,5	-	$\geq 3,5$ a ≤ 10
HL 5	≥ 2	≥ 5 a ≤ 15

Fuente: Norma UNE EN 459-1:2015

Existe una condición para la HL 5 y es que si esta llega a tener una densidad aparente inferior a $0,90 \text{ kg/dm}^3$ se permite que su resistencia llegue a los 20 MPa.[1]

3.2 Adiciones

Para mejora algunas características de los morteros y las pastas de cal se adicionan ciertos materiales inorgánicos comúnmente llamados “Adiciones activas”, entre los más usados están los materiales con propiedades puzolanas, como los que se mencionaran próximamente.

- Cenizas Volantes: Son residuos que se recogen por captación mecánica de los polvos que acompañan los gases combustibles producidos por carbones pulverizados en las centrales termoeléctricas.

Su empleo principalmente en los morteros de cal mejora su resistencia, impermeabilidad y durabilidad.

- Humo de sílice: Subproducto obtenido a partir de la reducción de cuarzo de alta pureza de carbón compuesta principalmente de sílice amorfa.

La adicción de este material mejora la resistencia a corto plazo y reduce la permeabilidad del mortero.

- **Metacaolín:** Este es un material amorfo obtenido a partir de la deshidratación del caolín a una temperatura entre 600-700 ° C.

Las características más importantes que proporciona el uso del metacaolín en el caso de los morteros de cal es el incremento considerable y con gran rapidez de su resistencia, entre otras características como la reducción de la permeabilidad.

- **Chamota** (cerámica molida): dicho material se trata de la cocción, molienda y posterior reducción a granos de diferentes grosores de la cerámica. El cual, al añadirse a morteros de cal, da lugar a morteros de agarres con muy buenas propiedades hidráulicas de alta resistencia y durabilidad [2].

3.3 Materiales compuestos

Un material compuesto es un sistema integrado por una mezcla o combinación de dos o más micro o macro constituyentes que difieren en forma y composición química, esencialmente insolubles entre sí. La mayor parte de los materiales compuestos están formados por dos o más fases, una matriz continua que rodea a las demás fases que se denominan fases dispersas y que se clasifican en función de su microestructura o geometría.

La importancia ingenieril de los materiales compuestos es muy grande ya que se combinan inteligentemente las propiedades y prestaciones de los materiales constituyentes cuando se diseña y se fabrica el material compuesto.

Según la naturaleza de la microestructura de la fase dispersa los materiales compuestos pueden clasificarse en tres grandes grupos:

- Compuestos reforzados con partículas.
- Compuestos reforzados con fibras.
- Compuestos estructurales.

Existen otras clasificaciones de materiales compuestos en función con la naturaleza de la matriz:

- Compuestos de matriz metálica (MMC).
- Compuestos de matriz cerámica (CMC).

- Compuestos de matriz polimérica (PMC).

Los materiales compuestos de matriz poliméricas son los de mayor importancia tecnológica principalmente cuando están reforzados con fibras, como son:

- Carbon fiber reinforced plastic – CFRP.
- Boron fiber reinforced plastic – BFRP.
- Glass fiber reinforced plastic – GFRP.
- Aramid fiber reinforced plastic – AFRP.

Las matrices poliméricas para los materiales compuestos reforzados con fibras suelen ser plásticos termoestables del tipo resinas de poliéster insaturadas o resinas epoxi.

Las resinas epoxi son ahora más comunes por las ventajas que presentan: Mayor resistencia, menores modificaciones en la etapa de curado, mejor adherencia a las fibras y se pueden utilizar a temperaturas más altas que las resinas de poliéster. Las resinas epoxi son la base de los materiales compuestos basados en fibras de carbono o de poliaramida.

3.3.1 Compuestos reforzados con partículas

Estos materiales compuestos reforzados con partículas a su vez son clasificados en reforzados con partículas grandes y consolidados por dispersión. El material compuesto reforzado con partícula más conocido es el hormigón, cuyas partículas son la arena o grava en una matriz cerámica compuesta por silicatos y aluminatos hidratados.

3.3.2 Compuestos reforzados con fibras

Los materiales compuestos con fibras son los más conocidos por sus altas prestaciones mecánicas y el alto valor añadido del material final, cuyas fases dispersas constan de fibras que son unas microestructuras muy anisotrópicas. En

los compuestos reforzados con fibras se obtiene mejores prestaciones mecánicas debido a que la probabilidad de encontrar defectos disminuye considerablemente, además las fibras se anclan en la matriz la cual las rodea completamente.

Las propiedades mecánicas son anisotrópicas y varían principalmente según el grado de ordenamiento de la fibra en el interior del material: ordenadas uniaxialmente, parcialmente ordenadas y desordenadas.

3.3.2.1 Fibra de vidrio

La matriz más utilizada para este tipo de fibra son las resinas de poliéster, hay dos variedades típicas de fibras las normales (Vidrio E) y las de alta resistencia (Vidrio S). Esta última tiene una excelente relación resistencia/precio por lo que es muy utilizada pero su bajo módulo elástico es su principal limitación y son utilizadas en el reforzamiento de plásticos en general por su bajo precio.

3.3.2.2 Fibra de carbono

Para estas fibras es muy común utilizar matriz epoxi. Estas tienen tres variantes: alta resistencia, intermedia y alto modulo. Son muy útiles donde los factores críticos son la rigidez, resistencia y bajo peso, pero donde el precio es un factor secundario. En general la fibra de carbono se obtiene a partir de las fibras de PAN (Poliacrilonitrilo) en tres etapas:

- 1) Estabilización.
- 2) Carbonización.
- 3) Grafitizado².

3.3.2.3 Fibra de polímeros

En este tipo de fibras las más comunes son las de poliaramida, este tipo de fibras tiene matriz epoxi. Proceso de conversión del carbono de una fundición en grafito, por descomposición del carburo de hierro en la reacción.

3.3.3 Compuestos estructurales

Estos presentan una combinación de materiales homogéneos y las propiedades dependen más de la geometría del diseño de los elementos estructurales que de la

²Proceso de conversión del carbono de una fundición en grafito, por descomposición del carburo de hierro en la reacción.

naturaleza de los materiales constituyente. Estas capas de materiales suelen ser laminares o sándwiches y son muy anisotrópicos. Por ejemplo, la madera contrachapada es un ejemplo común.

Por último, cabe resaltar que cada vez se utilizan más los materiales reforzados con fibras por ser más baratos y porque ocasionan un menor impacto ambiental [3].

3.4 Refuerzos con fibras vegetal

3.4.1 Materiales compuestos reforzados con fibras vegetal

Los materiales compuestos de cemento reforzado con fibras naturales representan una forma de reciclar residuos que es de gran interés energético y económico para los países en desarrollo. El desarrollo de materiales compuestos a partir de fibras naturales o biocompuestos, está asociado a una necesidad, desde distintos sectores de la industria, de limitar el uso de recursos no renovables.

Representan un campo de innovación para el diseño de materiales y productos, vinculado a un desarrollo sustentable, también generan un aprovechamiento de recursos renovables y locales, ampliando el campo de aplicación de las actividades agrícolas. Sus aplicaciones son variadas y van desde la industria aeroespacial, mobiliaria, automotriz hasta los geotextiles biodegradables y materiales para la construcción.

Actualmente se busca reforzar polímeros con fibras provenientes de productos naturales como son el lino o la fibra de coco. Por lo tanto, al ser las fibras de refuerzo de origen vegetal, el impacto medioambiental total en la fabricación de las piezas disminuye considerablemente.

3.4.1.1 Clasificación de las fibras vegetales

Las fibras de origen vegetal están compuestas básicamente por celulosa, la cual se utiliza en la industria textil y en la fabricación de papel. Las tres fibras vegetales más importantes son el algodón, el lino y el esparto.

Para la clasificación de estas fibras vegetales se acostumbra a relacionar la parte de la planta que se aprovecha y pueden dividirse en cuatro grupos:

- Fibras de líber o tronco: como ejemplo tenemos el yute, el lino y el cáñamo.
- Fibras de hojas: como ejemplo tenemos el sisal, henequén y abacá.
- Fibras de pelusas de frutas: como ejemplo tenemos la estopa de coco.
- Fibras de madera: como ejemplo tenemos el bambú, el junco y el bagazo.

3.4.2 No tejidos de fibras vegetales

Los no tejidos son telas de fibras, ya sean naturales o creadas por el hombre, las cuales no han sido hiladas y que se encuentran unidas por medio de distintos procedimientos mecánicos, térmicos o químicos.

Los no-tejidos pueden tener una vida útil corta o larga dependiendo de su composición, donde los materiales y técnicas de producción constituyen un factor diferenciador clave. A continuación, se mencionan algunas de las propiedades que se pueden llegar a obtener por medio de la utilización de estas telas no tejidas: porosidad, elasticidad, absorbencia, ligereza resiliencia y dureza, entre otras.

Cabe resaltar que su implementación representa también una alternativa económicamente viable, ya que los costos de producción disminuyen considerablemente al evitar el proceso de hilatura que incrementa el valor de los productos en el mercado.

Tipos de no tejidos:

- Telas no tejidas verdaderas: realizadas con fibras elegidas y formando planchas aprestadas y adheridas unas con otras.
- Fieltro con base de pelos y lana: por medio de acción mecánica de mezcla forman una lámina sin apresto.
- Napas: formadas con fibras de variada calidad entrelazada, con o sin encolar.
- Papeles con base de fibras sintéticas o artificiales: consiste en fibras de corta longitud sustentadas por medio de un encolado.

Los no tejidos posibilitan nuevas aplicaciones en distintos sectores y actualmente existe un notable incremento de su producción a nivel mundial. Las innovaciones en

los no tejidos van en aumento debido a su creciente demanda gracias a la variedad de posibilidades que ofrece este tipo de material y la versatilidad en sus aplicaciones en el sector industrial [6].

4 ESTADO DEL ARTE

En los últimos años, se ha incrementado el interés en el uso de fibras de celulosa como alternativas para los refuerzos convencionales en materiales compuestos. El desarrollo de materiales comercialmente viables, respetuosos con el medio ambiente y sanos, basados en recursos naturales en auge. En este sentido, las fibras celulósicas como refuerzos para composites morteros de cemento constituyen una opción muy interesante para la industria de la construcción. Los principales logros encontrados han sido el desarrollo de compuestos textiles que permitirán obtener materiales de alto rendimiento reforzados con fibras vegetales [8].

Este tipo de fibras sólo requieren un bajo grado de industrialización para ser procesadas y en comparación con las fibras de refuerzo sintéticas, la energía utilizada para su producción es pequeña y, por lo tanto, el costo de fabricación es también bajo (Toledo Filho et al. 2009).

Estudios han evaluado el efecto del proceso de hornificación en fibras celulósicas con el fin de mejorar su durabilidad y estabilidad para ser utilizado como refuerzo en matrices cementosas. Indicando que dicho tratamiento no deteriora las propiedades de la viscosidad y el índice de cristalinidad y disminuye la capacidad de retención de agua. El uso de fibras hornificadas como refuerzo genera mejoras en el módulo de ruptura y energía específica de los compuestos [12].

Las fibras naturales pueden considerarse una alternativa válida a las de polipropileno como refuerzo de los emplastos de cal. En particular, la disminución de las propiedades mecánicas debido a los ciclos de congelación / descongelación es comparable bajo condiciones de carga [14]. Otros estudios indican que el refuerzo de fibras naturales no tejidas conduce a compuestos de cemento con una mejora sustancial de la ductilidad [15].

La principal ventaja de reforzar con fibras materiales frágiles como las pastas de cemento, mortero u hormigón, es el comportamiento que se obtiene del material compuesto después de la rotura de la matriz. La resistencia posterior a la rotura,

que brindan las fibras, podría permitir un uso más intensivo de estos materiales en el ámbito de la construcción (Agopyan et al. 2005).

Estudios reciente para el uso eficiente de revestimientos de mortero reforzado con textiles (TRM) como un medio de refuerzo de las instalaciones construidas estructuralmente deficientes revelan que depende de la unión entre las rejillas unidas externamente y el sustrato existente, también se observó un modo de falla común (deslizamiento textil) [16].

Estudios revelan que el metacaolín exhibe una actividad puzolánica mucho más fuerte que el polvo de ladrillo, y que las propiedades mecánicas de las pastas a base de cal no se refuerzan necesariamente mediante la adición de puzolanas. sin embargo, la reducción de la contracción debería dar como resultado la eliminación del agrietamiento alrededor de los agregados en los morteros [17].

Estudios del análisis mineralógico muestran que la relación Cal-Metacaolín: el agregado afecta el grado de carbonatación y las reacciones puzolánicas con el curado. La reacción puzolánica ocurre principalmente a tiempos de curado más bajos (28 días), mientras que, a edades de curado más altas, la reacción de carbonatación es predominantemente dominante. La reducción en la resistencia mecánica de algunas composiciones observadas de 28 a 90 días está relacionada con la inestabilidad del hidrato de aluminato de calcio en presencia de cal libre. Se espera que esta inestabilidad desaparezca después del consumo total de cal libre, ya sea por puzolánicos o por reacción de carbonatación [18].

Investigaciones recientes sobre el análisis del rendimiento mecánico y la durabilidad de piezas de fachada basadas en la matriz de cemento Portland y los materiales no tejidos de lino como refuerzo. Por un lado, se estudiaron el rendimiento mecánico y la composición química de diversas composiciones ternarias y, por otro lado, se realizaron diversos tratamientos en los materiales no tejidos y también se analizó la adherencia de la matriz no tejida. Se evaluaron sus propiedades mecánicas y durabilidad bajo pruebas de flexión de cuatro puntos después de 28 días de curado en una cámara de humedad. Los materiales compuestos desarrollados con los materiales no tejidos tratados presentaron un

rendimiento muy alto combinado con suficiente durabilidad para ser candidatos potenciales para el desarrollo de materiales sostenibles para la construcción de sobres [19].

5 CAMPAÑA EXPERIMENTAL

La fase experimental de este trabajo se realizó buscando siempre la mejor forma de aplicar este producto en situ, la misma se llevó a cabo en dos fases, la primera consistió en elaborar probetas con cada una de las matrices sin fibra para analizar su comportamiento sin reforzar, siendo ensayadas a flexión para establecer la mejor de todas ellas. Para la segunda fase de elaboración de muestras que consistía en añadir la fibra, se intentaron varios métodos en busca de la mejor opción.

Para la elaboración de nuestras muestras intentamos buscar un método que facilitase la utilización del refuerzo in situ, lo cual nos condujo a buscar un medio de apoyo capaz de soportar el peso de nuestras muestras y capaz a su vez de no deteriorarse por problemas de humedad, debido a eso optamos por utilizar placas de metacrilato de 8 mm de espesor.



Ilustración 1 - Molde de metacrilato.

Para este trabajo de investigación se analizará la viabilidad del uso de no tejidos de fibra de lino de 275 g/m², como refuerzo de las matrices de Cal hidráulica y de Cal en pasta que habrán de elaborarse. Se comprobará si mediante la utilización de distintas capas de fibra es posible mejorar la interacción entre el material de refuerzo y la matriz de Cal, así como incrementar la resistencia a flexión de las mismas.

Ya establecido el método se elaboraron probetas con las mismas matrices, pero esta vez reforzadas con distintas capas de fibras de no tejido vegetal, a estas probetas las ensayamos a flexión, se le determino el módulo elástico (MOE), el límite de proporcionalidad (LOP), el módulo de rotura (MOR) y finalmente se tomaron muestras para ensayarlas en el Microscopio electrónico de barrido.

Al concluir este trabajo determinaremos cuál de las matrices elegidas es la más acta tanto por resistencia como por su comportamiento ante la fibra de no tejido vegetal, recomendando ciertas pautas a seguir para investigaciones futuras.

Luego de elegir el método y a razón de analizar la adherencia entre nuestra matriz y una superficie más común en el ámbito de aplicación que estamos analizando procedemos a colocar sobre ladrillo las distintas matrices reforzadas, realizando los mismos procesos antes mencionados.

6 METODOLOGÍA

6.1 Materia prima

Las distintas matrices de cal que elaboramos para este trabajo utilizarán las proporciones de cal hidráulica, cal en pasta, metacaolín y agua expresadas en la tabla que mostramos a continuación. Como refuerzos de estas matrices de cal utilizamos un no tejido de fibra de lino en distintos números de capas (*Tabla 14*).

Tabla 14 – Matrices a investigar.

Matrices	NHL 3,5	CL90	MK	No. Capas
A	100%	--	--	4 Y 5
B	80%	--	20%	4 Y 5
C	70%	--	30%	4 Y 5
D	--	80%	20%	4 Y 5

Fuente: Elaboración Propia.

6.1.1 Cal hidráulica

Para esta investigación utilizaremos cal hidráulica (NHL 3.5) suministrada por la empresa "Saint-Astier" (*Tabla 15*).

Tabla 15 – Propiedades físico cal hidráulica.

Propiedades físicas	
Factor de resistencia:	3.5 (moderadamente hidráulico)
Residuo @ 0.09 mm:	6.5%
Índice de blancura:	72
Cal disponible (gratis) después de apagar el Ca (OH) ₂ :	20-25%
Densidad (peso volumétrico)	40.6 lbs / pie ³ 650 gr / litro
Cubierta superficial:	274 pies cuadrados / oz
Expansión:	<3/64 "(1 mm)
Residuo de cal viva después del apagado:	<1%

Fuente: Ficha Técnica (ANEXOS).



Ilustración 2 – Saco de 35 kg Cal Hidráulica Saint-Astier.

6.1.2 Cal en pasta

Para este trabajo de investigación utilizaremos cal en pasta (CL 90) para comparar y analizar el comportamiento de la fibra ante los distintos tipos de cal, esta cal es suministrada por la empresa “DCAL Carácter Natural”. (Ver anexos)



Ilustración 3 – Saco 20 kg Cal en Pasta DCAL

6.1.3 Metacaolín

Para este trabajo de investigación utilizaremos el metacaolín como un componente adicional en nuestra matriz, analizando distintos porcentajes y buscando el que proporcione mejores características, pudiendo analizar a su vez los efectos al estar en contacto con la fibra, este metacaolín es suministrado por la empresa “ARCIRESA” cuyo nombre comercial es (METACAOLIN PESER). Este es un producto con elevadas propiedades puzolánicas y cuenta con las siguientes características físicas y químicas:

Tabla 16 - Propiedades físico-químicas del Metacaolín.

Propiedades Físicas		Análisis Químicas	
Aspecto/color	Polvo blanco	% Al_2O_3	40.24
Perdida por calcinación	< 1.5%	% SiO_2	54.61
Puzolanicidad (ensayo Chapelle)	988g $Ca(OH)_2/g$	% Fe_2O_3	0.25
Superficie específica (Blaine)	10.971 cm^2/g	% TiO_2	1.06
Demanda de agua	106.2%	% CaO	< 0.10
Índice actividad resistente 28 días	111.6%	% MgO	< 0.10
Densidad Aparente:		% Na_2O	0.02
-Aireada	600 kg/m^3	% K_2O	1.44
-Compactada	800 kg/m^3		
Peso específico	2.54 g/cm^3		

Fuente: Ficha Técnica (ANEXOS).

6.1.4 Fibra natural

Las muestras de no tejidos de fibra de lino fueron elaboradas por el Departamento de Ingeniería Textil y Papelera (DETIP) de la Universidad Politécnica de Cataluña. El proceso de fabricación del no tejido se estructura en 4 etapas [13]:

1. Cardado de las fibras. El objetivo de esta etapa consiste en separar las fibras para formar una masa de fibras esponjadas, homogéneas y sin aglomeraciones.

Se consigue haciendo pasar la fibra virgen por la superficie de unos cilindros con agujas cortas que giran en sentidos opuestos.

2. Formación de las capas. Una vez cardada la fibra se forman capas homogéneas de fibras de la anchura y espesor deseados mediante el uso de una serie de cilindros que agrupan y planchan las fibras de la anterior etapa.
3. Formación de la manta no consolidada a partir del solapamiento de capas individuales superpuestas en sentidos perpendiculares. El número de capas depende del gramaje que se desea obtener.
4. Consolidación del no tejido mediante el punzonado superficial de la manta. Se realiza mediante unos cabezales especiales que disponen de un número elevado de agujas que pinchan la manta para hundir fibras superficiales en el interior de la manta, consolidando el conjunto formando el no tejido.



Ilustración 4 – Rollo de Fibra de no Tejido de Lino.

6.1.5 Agua

El agua nos sirve de plastificante, y es un elemento importante en el proceso de carbonatación de los morteros de cal hidráulica. Para estos ensayos se ha utilizado agua des- ionizada procedente de las instalaciones de los laboratorios de la Escuela Superior de Agricultura de Barcelona (ESAB).

6.1.6 Desencofrante

Para evitar la adherencia de nuestras matrices a los moldes utilizados para la fabricación de probetas, se usó un desencofrante de marca Sika.



Ilustración 5 – Desencofrante Sika.

6.2 Procedimiento de elaboración de la muestra

6.2.1 Tratamiento previo de la fibra

Según la bibliografía consultada, para mejorar la adherencia de la matriz de cal y el refuerzo de no tejido es necesario realizar un tratamiento previo que limpie y acondicione la fibra reduciendo así su capacidad de absorción de agua, esto consiste en una serie de ciclos seco-húmedos, este proceso es conocido como cornificación y va de la siguiente manera [4]:

1. El ciclo húmedo consiste en humedecer la fibra colocándola en una bandeja con suficiente agua para llegar a mojar cada espacio de su interior. Este mismo proceso se repite para todas las capas de fibras. Dejamos reposar por uno día para que se humedezca en su totalidad.



Ilustración 6 – ciclo húmedo de la fibra previa a su puesta en ejecución.

2. Al cumplirse el tiempo de remojo, se le extrae la mayor cantidad de agua a la fibra antes de ser colocada en el horno, se envuelve en papel de filtro para evitar que la fibra entre en contacto directo con el calor y llegue a quemarse o tostarse, se procura no exceder un máximo de 10 unidades por grupo. El horno se gradúa a 60-65°C por un día completo.



Ilustración 7 – Preparación de la fibra para el Horno.

De acuerdo a la bibliografía consultada, para el proceso de cornificación es necesario un mínimo de 4 ciclos. Ya que estos primeros en donde se obtiene mayores resultados del proceso [4].

6.2.2 Metodología de elaboración de las muestras.

Para elaborar las probetas con las matrices cal sin refuerzo se utilizó un molde con cinco celdas para elaborar probetas de 10x10x70 mm. Para evitar la adherencia del mortero al molde, se utilizó desencofrante el cual se aplicó por toda la superficie del molde.



Ilustración 8 – Molde para Matriz sin Refuerzo

Debido a la carencia de trabajos previos sobre el uso de la fibra de no tejido con cal y en la búsqueda de la aplicación más real de este proceso probamos distintos métodos para la realización de las muestras. La manera que nos proporcionó mayor facilidad de uso entre la matriz y el refuerzo de no tejido, fue:

1. Humedecer la fibra previa a su puesta en contacto con la mezcla.
2. Impregnar la fibra con la mezcla.
3. Colocarla en una máquina de adsorción al vacío (Ilustración 10) para extraer el exceso de agua colocada en la matriz para permitir la fácil penetración en la fibra.
4. Colocarla sobre el molde de metacrilato antes mencionado y pasamos un rodillo por toda la superficie para asegurar la adherencia entre cada capa que vamos colocando sobre nuestro molde.



*De izquierda a derecha:
Ilustración 9 - Mojado previo.*

Ilustración 10 - Aplicación de la pasta a la fibra.

Ilustración 11 - Molde para la aplicación del vacío a la fibra.



Ilustración 12 - Probeta colocada sobre el molde de metacrilato.

6.2.3 Proceso de curado

De acuerdo con la bibliografía consultada la cal hidráulica endurece por medios aéreos e hidráulicos [1]. Para optimizar el endurecimiento y hacerlo en un corto tiempo, nos planteamos un método con el que podemos controlar la humedad y la temperatura.

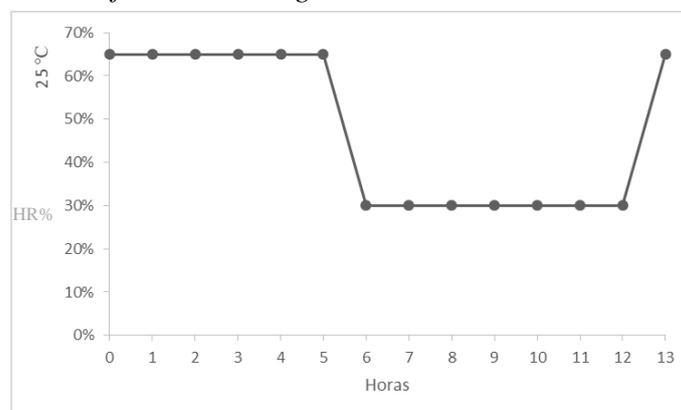
Para esto introducimos las probetas en una cámara climática, esta máquina nos permite contralar las condiciones atmosféricas.



Ilustración 13 - Máquina de Climatización.

Programamos dichas condiciones en 25°C la temperatura y un gradiente de humedad relativa entre 65 y 30 porciento. En este proceso la temperatura la mantenemos constante mientras que cada 6 horas la humedad relativa varía de acuerdo a las condiciones antes mencionas.

Gráfica 1 - Cronograma del ciclo de curado.



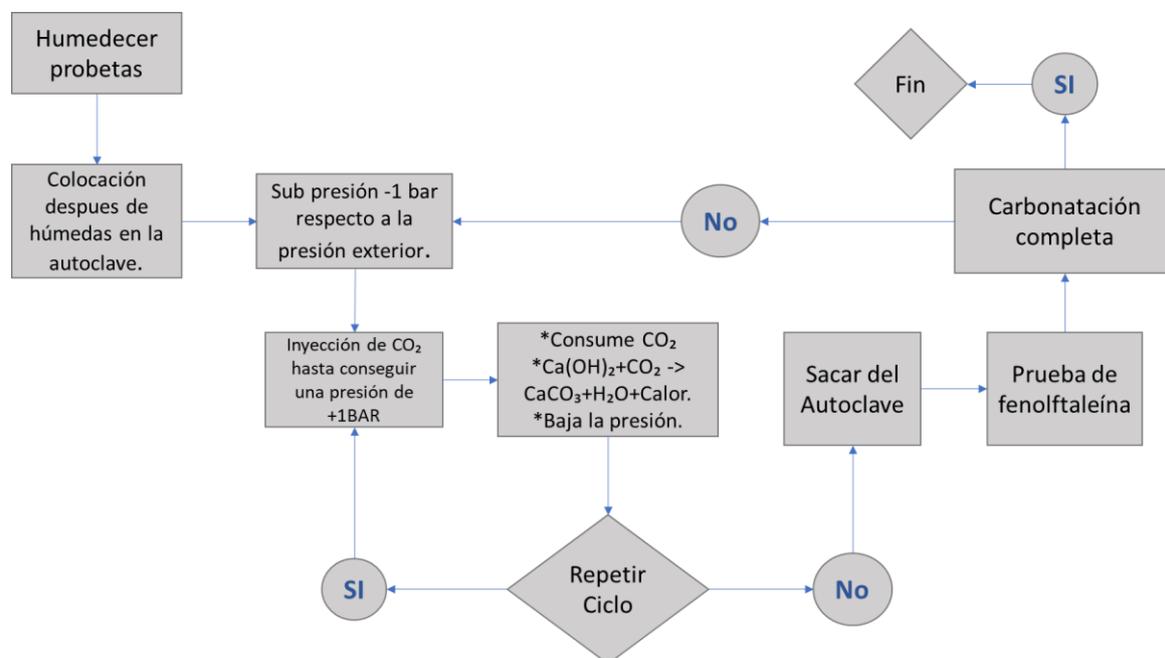
Fuente: Elaboración Propia.

De esta manera conseguimos de forma algo acelerada que se produzcan las condiciones atmosféricas necesarias para que la cal llegue a carbonatar en menos tiempo, permitiéndonos obtener resultados de una manera más rápida.

6.2.3.1 Carbonatación acelerada

Para asegurarnos de que la carbonatación de nuestras probetas sea completa, pasados 15 días en la cámara de curado, nos auxiliamos de otra máquina, en la que podemos inyectar CO₂ acelerando la reacción aérea de la cal [5].

Ilustración 14 - Diagrama de flujo proceso de carbonatación acelerada



Fuente: Elaboración Propia.

Antes de introducir las probetas a esta máquina procedemos a humedecerlas, posterior sellado de la cámara, realización de vacío llevando la presión a -1 atm e inyección de la primera porción de CO₂ hasta llevar la presión a +1 atm.

La reacción es casi inmediata notándose en el manómetro como va bajando la presión por el consumo de CO₂ del ambiente por las probetas y cuando este ya es consumido en su totalidad procedemos a inyectar CO₂ a la misma presión que la primera vez, repitiendo este proceso hasta que en el manómetro deja de bajar la

presión lo que nos indica que la cal deja de consumir CO_2 llegando a su capacidad máxima. Cuando esto sucede abrimos la cámara y le hacemos la prueba de carbonatación mediante el test de la fenolftaleína a una probeta de sacrificio para confirmar que ya se ha completado el proceso.



Ilustración 15 - Autoclave para carbonatación acelerada.

6.2.4 Método de ensayo

6.2.4.1 Ensayo a flexo tracción

Pasados los 15 días en la máquina climática con el proceso de curado y luego de estar en la autoclave para inyectarles CO_2 , las probetas de matriz sin refuerzo se someten a un ensayo de flexión y compresión para determinar las características mecánicas de muestras matrices. Este ensayo se llevó a cabo con una prensa de control multiensayos, ubicada en la Escuela Superior de Agricultura de Barcelona (ESAB). Cuyos parámetros de ensayo fueron con una velocidad de ensayo de 4,00 mm/min, 0,25 seg y con una celda 50Kg.

Las probetas con matriz reforzado con el no tejido, se ensayaron por el método de flexión de cuatro puntos. Este ensayo se llevó a cabo con una prensa de control multiensayos "Incotecnic", ubicada en la Escuela Superior de Agricultura de

Barcelona (ESAB). Cuyos parámetros de ensayo fueron, velocidad de ensayo 4,00 mm/min, intervalo de muestreo 0,25 seg, límite superior de fuerza 0,200 tf y con una celda de carga de unos 5 KN.



De izquierda a derecha:

Ilustración 16 - Prensa Matriz sin Reforzar.

Ilustración 17 - Prensa Matriz Reforzada.

6.2.4.2 Estudio microestructural de las probetas

Después de haber realizado el ensayo a flexión de todas las probetas, se llevó a cabo el estudio microestructural de cada matriz con ayuda del microscopio electrónico de barrido SEM (*Scanning Electron Microscope*) ubicado en los Centros Científicos y Tecnológicos de la Universidad de Barcelona (CCiTUB). Mediante este estudio se analizó detalladamente la relación entre las distintas matrices de cal y las fibras de refuerzo. También se identificó el grado de penetración existente de la cal en la fibra, el grado de dispersión de las fibras, la homogeneidad del material compuesto y la adherencia a una determinada superficie como es la del ladrillo.

El equipo empleado es un microscopio electrónico de barrido ambiental FEI Quanta 200, el cual utiliza electrones en lugar de luz para formar imágenes de alta resolución imposibles de obtener con un microscopio óptico. El SEM cuenta con un dispositivo que genera un haz de electrones para iluminar la muestra y después, con

diferentes detectores, se recogen los electrones generados de la interacción con la superficie de la muestra para crear una imagen que refleje sus características superficiales y que proporcione información sobre su forma, textura y su composición de elementos químicos.



Ilustración 18 - Microscopio Electrónico

Se requiere que las muestras destinadas al SEM cumplan con dos condiciones, deben ser conductoras y estar perfectamente secas. A continuación, se describe paso a paso el proceso de preparación de las muestras para su análisis en el microscopio electrónico:

- 1) En primer lugar, se cortaron pequeños pedazos de las probetas que se desean analizar con ayuda de la máquina cortadora de muestras de la Escuela Superior de Agricultura de Barcelona (ESAB).
- 2) Posteriormente las muestras fueron colocadas en la estufa de secado durante 72 horas a una temperatura de 60°C. Es importante que las muestras estén deshidratadas, ya que algo de humedad dentro de la cámara podría provocar un mal funcionamiento del microscopio.

- 3) Una vez secas, se realizó una inclusión de las muestras en resinas sintéticas derivadas del epoxi, aunque también se puede utilizar otro tipo de resinas como son las acrílicas o el policarbonato. Al final de este proceso se obtienen bloques de resina que contienen la muestra en su interior.



Ilustración 19 - Muestras en Resina Epoxi.

- 4) Para finalizar se va puliendo siguiendo una secuencia de grados, desde papel de grado 400, 600, 800, 1200, y pastas de diamante de 6, 3 y 1 micra.

7 RESULTADOS

7.1 Dosificación de las muestras

Se detalla a continuación en las Tabla N. 17, 18 y 19 la dosificación de la materia prima para cada una de nuestras matrices. Así como también el número de capas de fibras utilizadas como refuerzo en cada caso.

Tabla 17 – Dosificación matrices sin reforzar.

	Grosor	Cal Hidráulica	Cal en Pasta	Metacaolín	Agua
Matriz A	10,00 mm	101,31 gr	--	--	56,18 gr
Matriz B	10,00 mm	81,08 gr	--	20,50 gr	61,53 gr
Matriz C	10,00 mm	71,18 gr	--	30,37 gr	68,86 gr
Matriz D	10,00 mm	--	87,64 gr	17,66 gr	8,22 gr

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18 – Dosificación matrices reforzadas.

	Capa de Fibras	Grosor	Cal Hidráulica	Cal en Pasta	Metacaolín	Agua
Matriz A	4	17,52 mm	1879,23 gr	--	--	1805,84 gr
	5	21,29 mm	2011,29 gr	--	--	2184,56 gr
Matriz B	4	19,66 mm	1332,10 gr	--	332,02 gr	1870,14 gr
	5	23,65 mm	1768,24 gr	--	443,35 gr	2386,85 gr
Matriz C	4	17,98 mm	1168,73 gr	--	499,14 gr	1892,19 gr
	5	24,17 mm	1550,28 gr	--	663,67 gr	2433,99 gr
Matriz D	4	13,73 mm	--	1331,20 gr	332,48 gr	881,98 gr
	5	16,71 mm	--	1767,20 gr	442,23 gr	1169,42 gr

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19 – Dosificación matrices reforzadas sobre ladrillo.

	Capa de Fibras	Grosor	Cal Hidráulica	Cal en Pasta	Metacaolín	Agua
Matriz A	4	56,04 mm	1033,98 gr	--	--	880,95 gr
Matriz B	4	55,85 mm	801,35 gr	--	199,40 gr	1340,28 gr
Matriz C	4	56,00 mm	700,27 gr	--	300,71 gr	1390,01 gr
Matriz D	4	54,61 mm	--	734,72 gr	299,26 gr	792,11 gr
Ladrillo	--	47,42 mm	--	--	--	--

Fuente: Elaboración propia.

7.2 Ensayo de resistencia a flexión

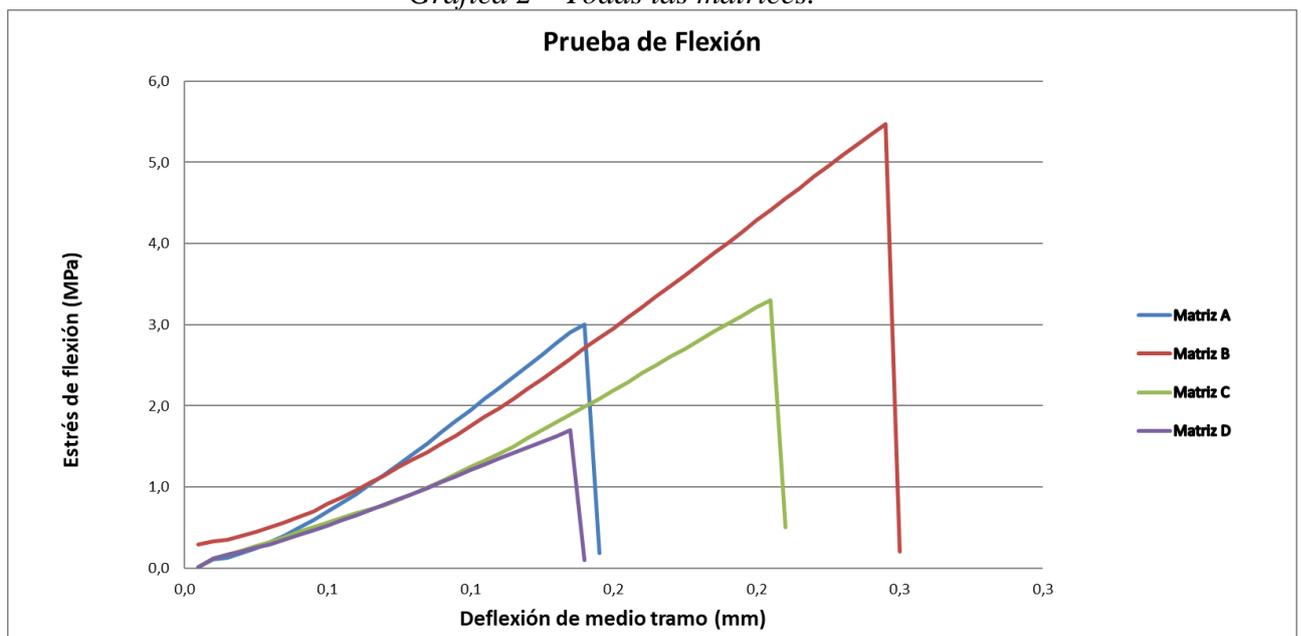
7.2.1 Matriz sin refuerzo

Tabla 20 – Valores obtenidos del ensayo a flexión

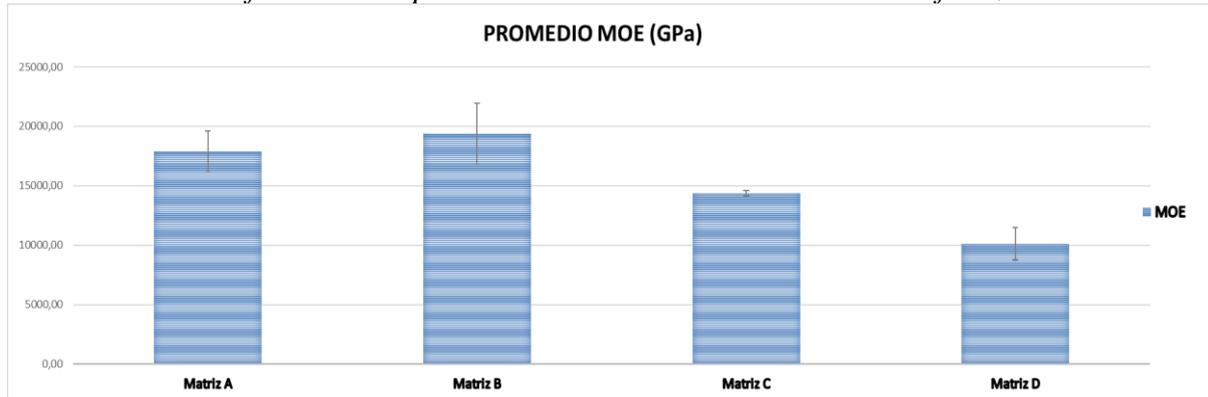
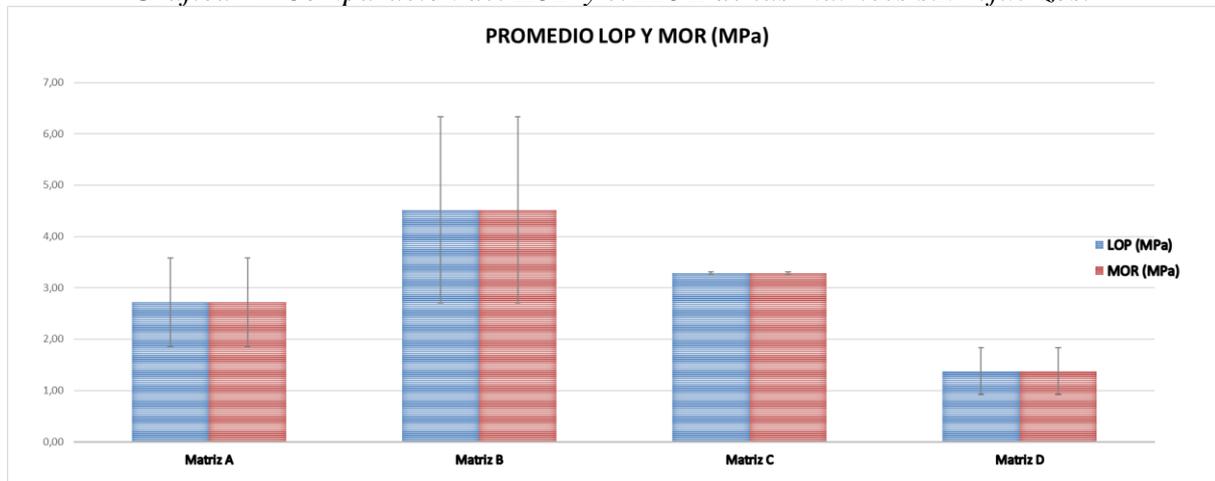
Sin refuerzo				
	σ m \grave{a} x (N/mm ²)	MOE (GPa)	LOP (MPa)	MOR (MPa)
Matriz A	3,00	17897,45 (\pm 1728,27)	2,72 (\pm 0,864)	2,716 (\pm 0,864)
Matriz B	5,47	19401,51 (\pm 2563,59)	4,52 (\pm 1,817)	4,520 (\pm 1,82)
Matriz C	3,31	14360,12 (\pm 227,38)	3,29 (\pm 0,024)	3,289 (\pm 0,02)
Matriz D	1,70	10122,36 (\pm 1335,78)	1,38 (\pm 0,452)	1,377 (\pm 0,45)

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 2 – Todas las matrices.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3 – Comparación del MOE de las matrices sin refuerzo.*Gráfica 4 - Comparación del LOP y el MOR de las matrices sin refuerzos.*

Observaciones Generales:

- 1) La *matriz B* es la que mejores características presenta en todos los aspectos comparados.
- 2) La *matriz D* es la que peores características presenta en todos los aspectos comparados.

7.2.2 Matrices reforzadas



De izquierda a derecha:

Ilustración 20 - Ensayo a flexión probetas reforzadas 4 capas.

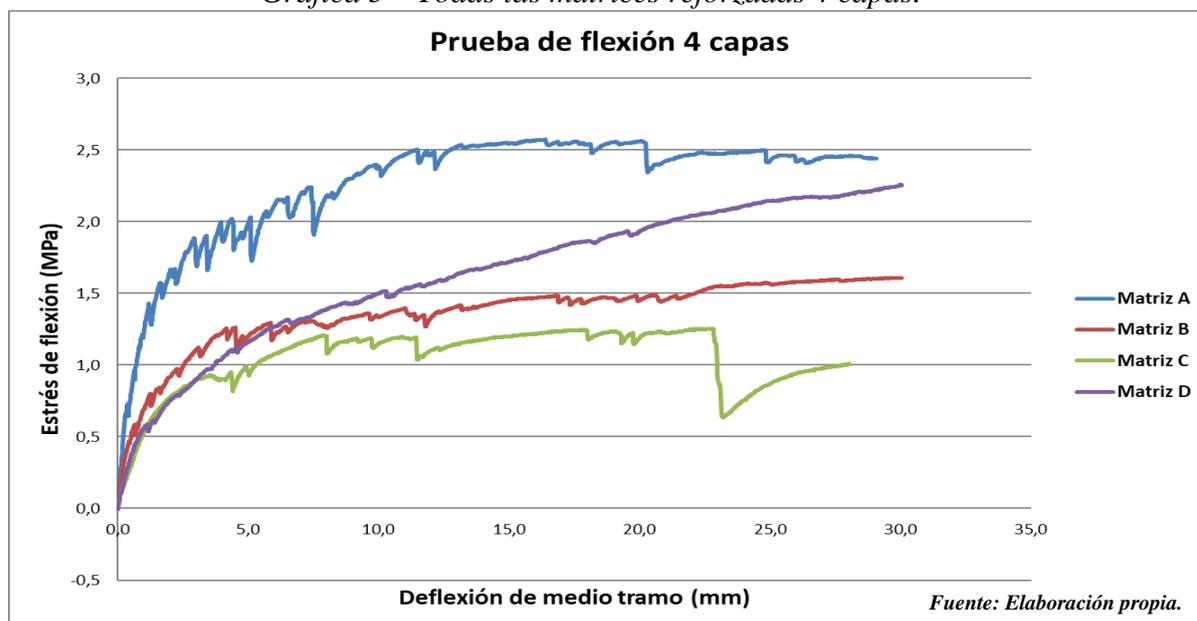
Ilustración 21 - Ensayo a flexión probetas reforzadas 5 capas.

Tabla 21 - Valores obtenidos del ensayo a flexión

	4 capas				5 capas			
	σ màx (N/m ²)	MOE (GPa)	LOP (MPa)	MOR (MPa)	σ màx (N/m ²)	MOE (GPa)	LOP (MPa)	MOR (MPa)
Matriz A	2,57	7094,92 (± 565,78)	0,585 (±0,162)	3,43 (±2,899)	2,72	2671,91 (± 220,85)	0,527 (±0,191)	2,00 (±0,534)
Matriz B	1,61	2649,66 (± 200,28)	0,258 (±0,070)	1,69 (±0,288)	1,93	1214,38 (± 369,19)	0,248 (±0,112)	1,65 (±0,371)
Matriz C	1,25	3466,17 (±1756,92)	0,288 (±0,129)	1,44 (±0,316)	1,61	1869,34 (± 927,62)	0,301 (±0,049)	1,64 (±0,286)
Matriz D	2,26	4887,75 (± 481,11)	0,269 (±0,175)	2,41 (±0,448)	2,90	4604,90 (± 361,77)	0,323 (±0,089)	2,40 (±0,519)

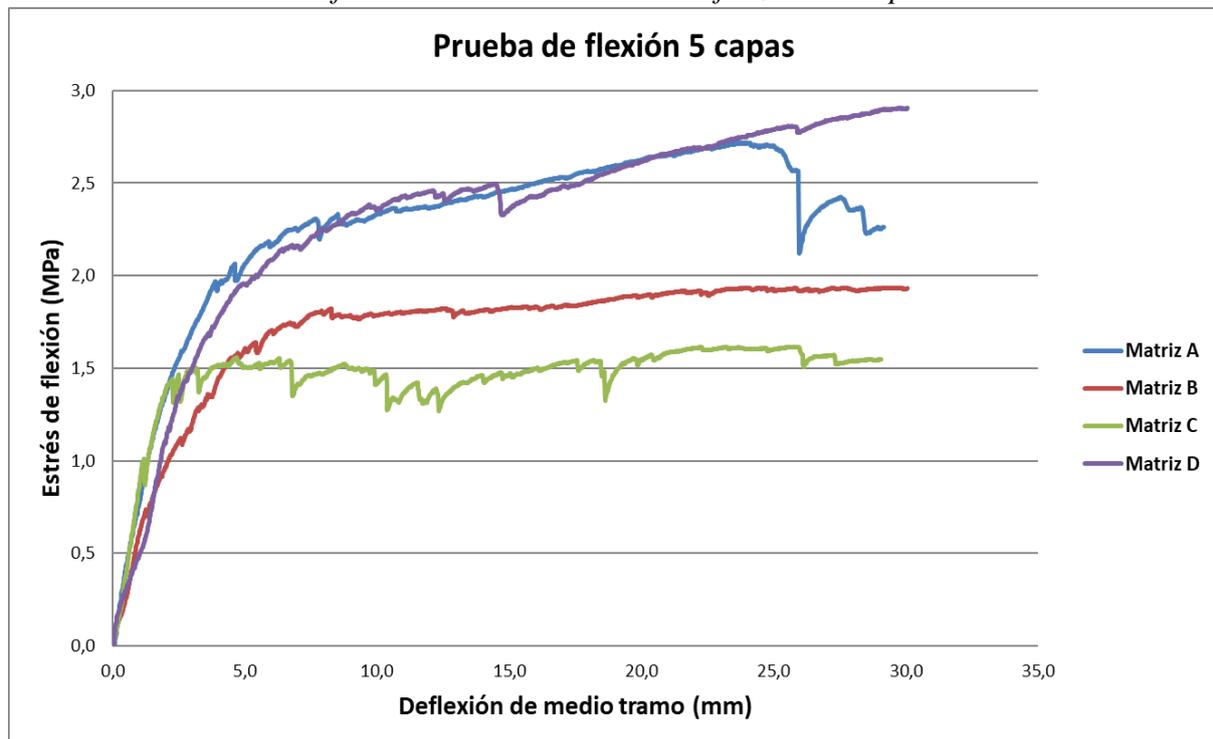
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 5 – Todas las matrices reforzadas 4 capas.

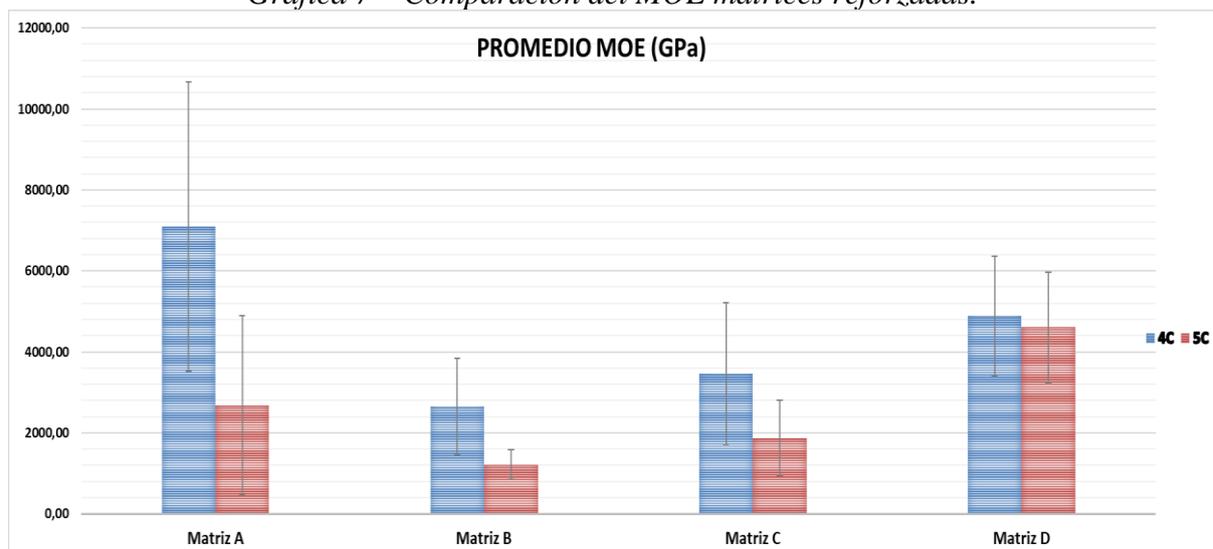


Fuente: Elaboración propia.

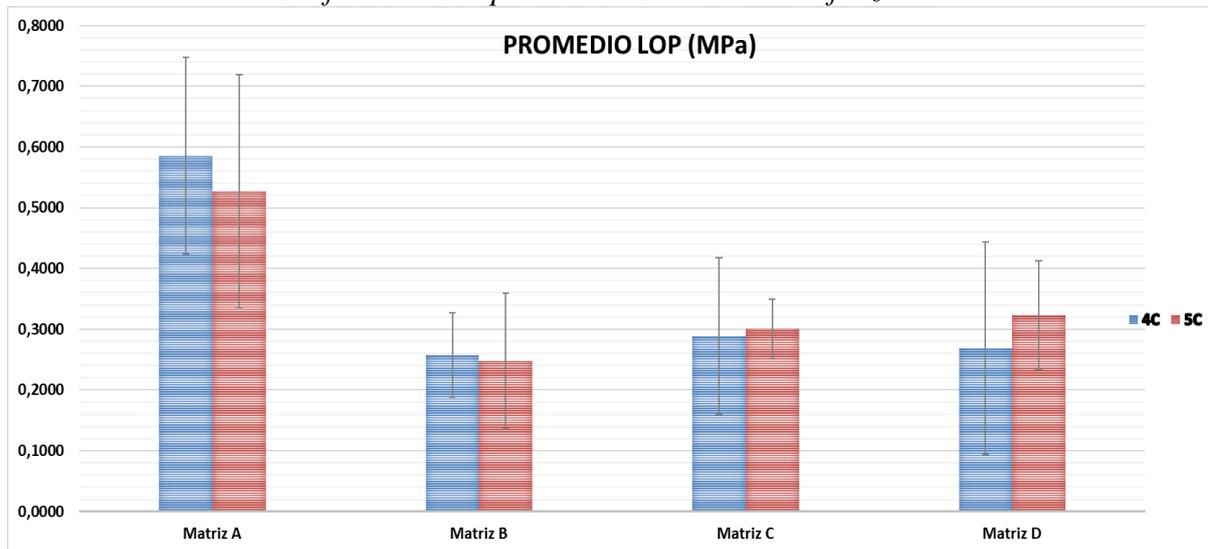
Gráfica 6 – Todas las matrices reforzadas 5 capas.



Gráfica 7 – Comparación del MOE matrices reforzadas.

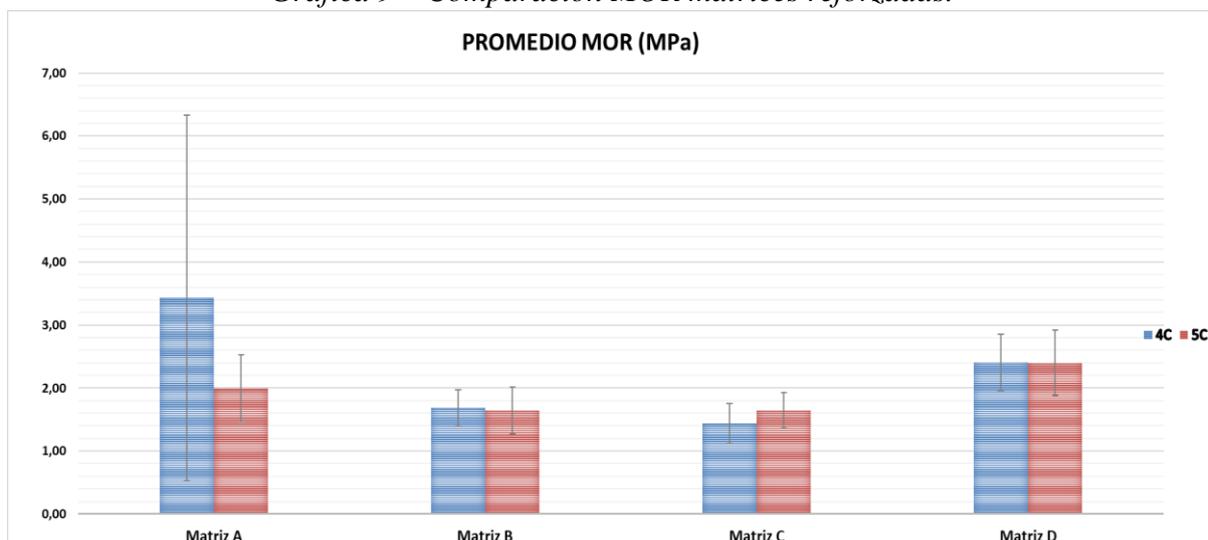


Gráfica 8 – Comparación LOP matrices reforzadas.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 9 – Comparación MOR matrices reforzadas.



Fuente: Elaboración propia.

Observaciones Generales:

1. Las matrices reforzadas con 5 capas de fibra presentan mayor resistencia y menor Modulo Elástico que las de 4 capas.
2. Las matrices reforzadas con 5 capas de mejores características mecánicas son la matriz A y D.

7.2.3 Reforzadas sobre ladrillo

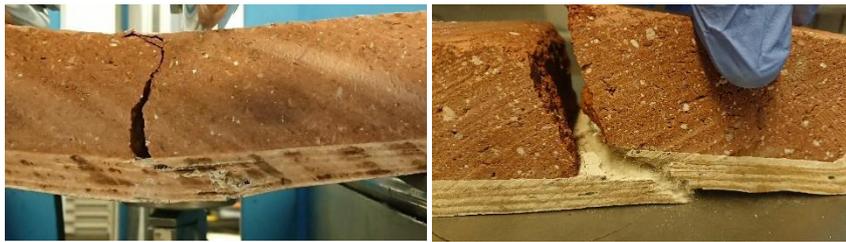


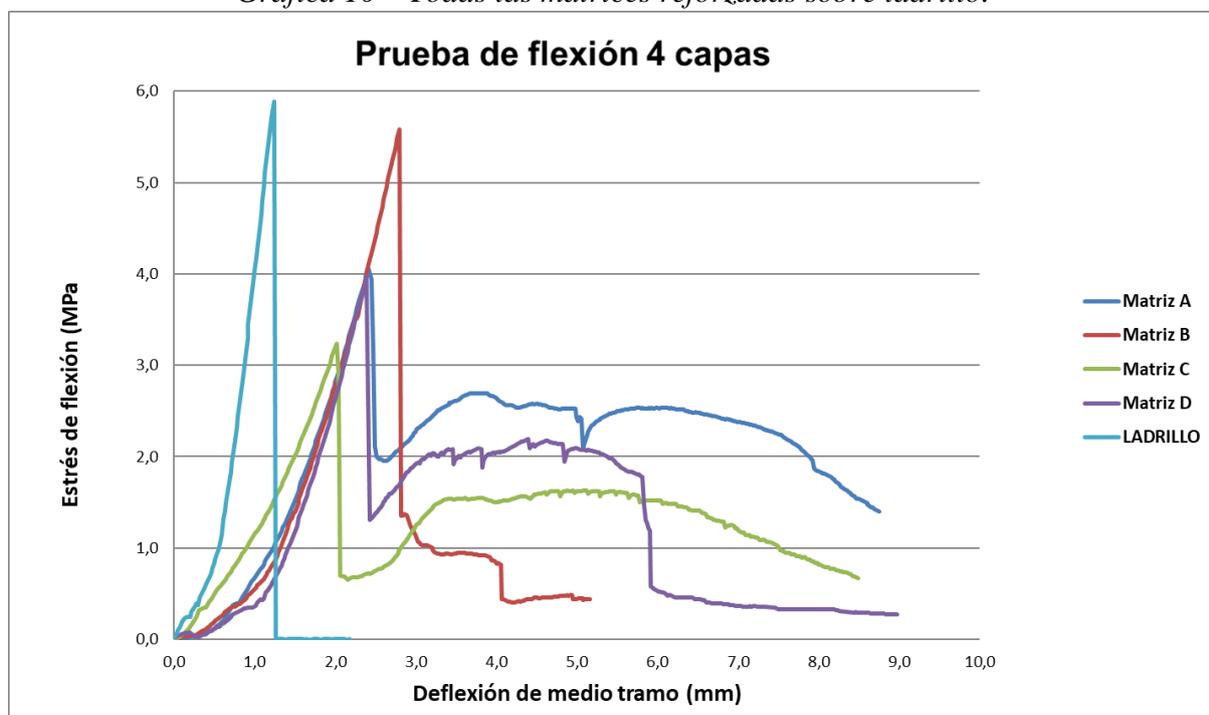
Ilustración 22 - Ensayo a flexión matriz sobre ladrillo

Tabla 22 - Valores obtenidos del ensayo a flexión

4 capas				
	σ màx (N/mm ²)	MOE (GPa)	LOP (MPa)	MOR (MPa)
Matriz A	4,07	221,46 (\pm 1,63)	1,54 (\pm 0,149)	1,562 (\pm 0,12)
Matriz B	5,58	219,31 (\pm 48,60)	1,47 (\pm 0,791)	1,647 (\pm 0,54)
Matriz C	3,24	170,95 (\pm 26,89)	1,11 (\pm 0,066)	1,123 (\pm 0,08)
Matriz D	3,97	174,37 (\pm 55,16)	1,14 (\pm 0,401)	1,452 (\pm 0,01)
Ladrillo	5,88	280,88 (\pm 44,82)	1,90 (\pm 0,447)	1,921 (\pm 0,46)

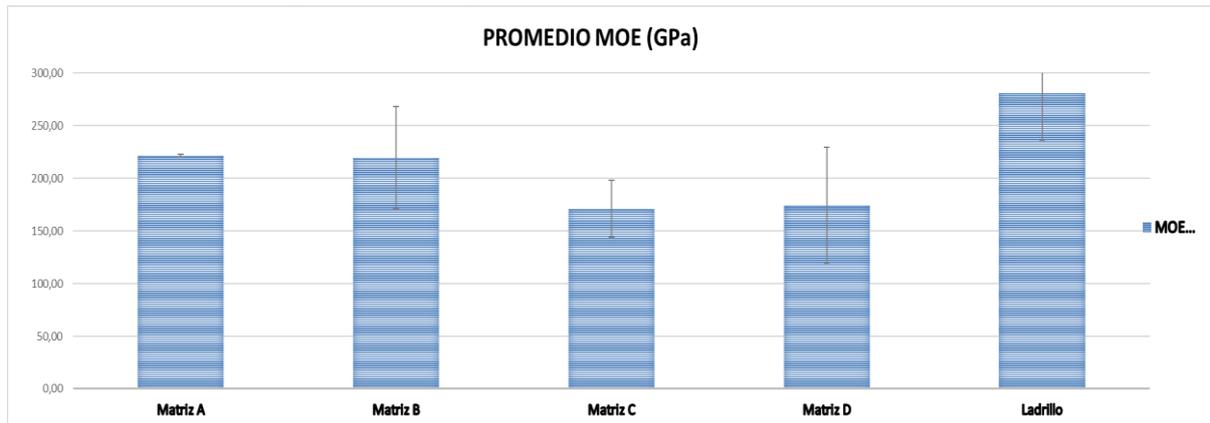
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 10 – Todas las matrices reforzadas sobre ladrillo.



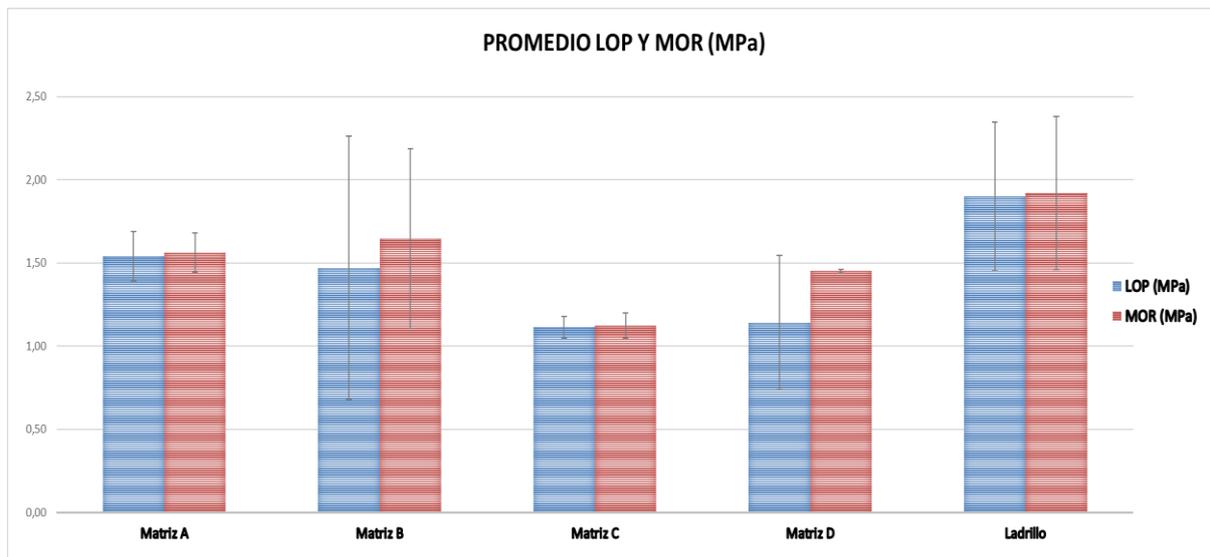
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 11 - Comparación MOE matrices sobre ladrillo.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 12 - Comparación LOP y MOR matrices sobre ladrillo.



Fuente: Elaboración propia.

Observaciones Generales:

1. La matriz B presenta las mejores características de resistencia sobre ladrillo.
2. La matriz B presenta muchas similitudes a la matriz A en características como el LOP y el MOE.

7.3 Caracterización Micro-estructural.

7.3.1 Matriz

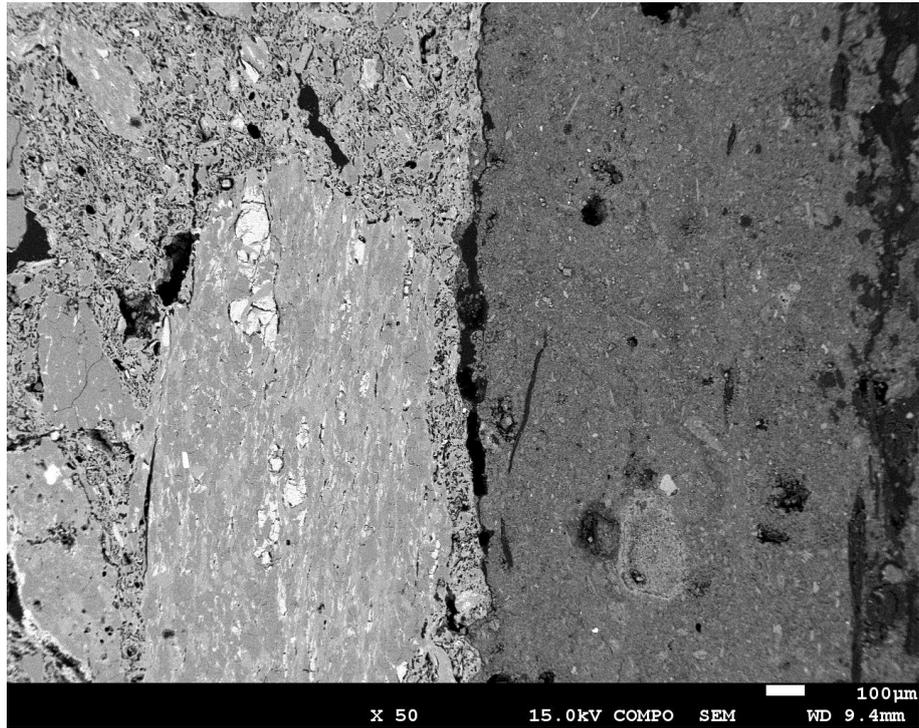


Ilustración 23 - Estudio micro estructural de la matriz.

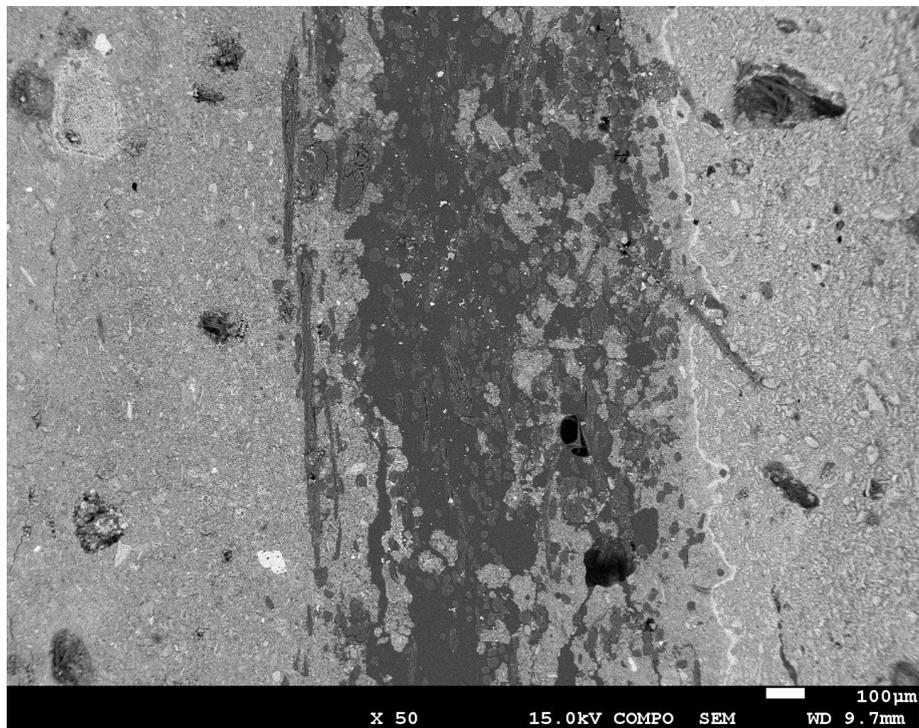


Ilustración 24 - Estudio micro estructural de la matriz.

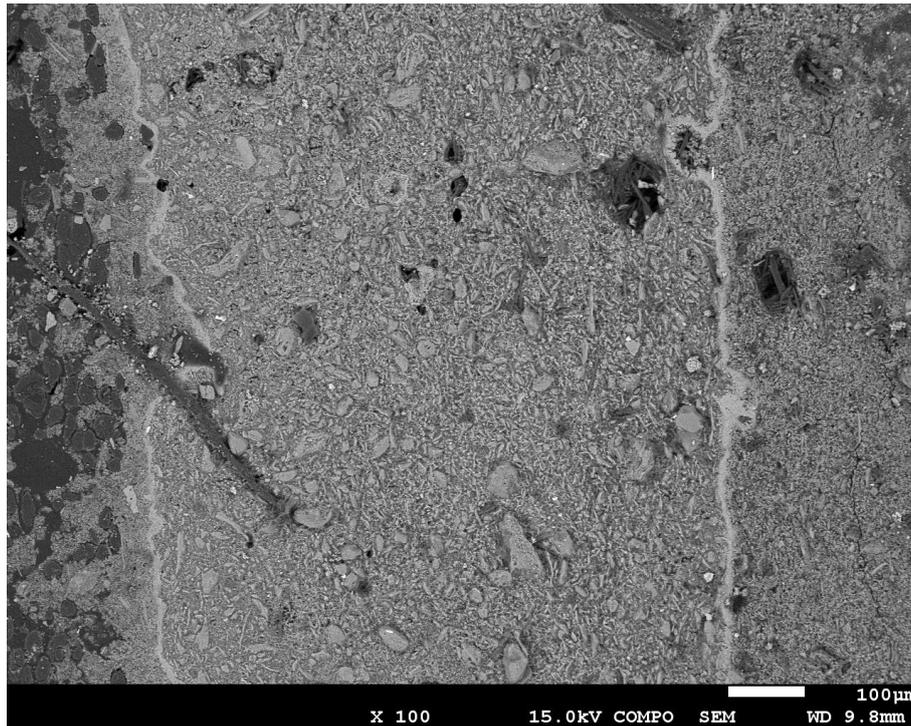


Ilustración 25 - Estudio micro estructural de la matriz.

Observaciones Generales:

1. En la *Ilustración 23* podemos observar la poca adherencia existente entre la matriz de cal y la superficie del ladrillo notándose diversas bolsas de aire entre ellas.
2. En la *Ilustración 24* podemos observar un bajo grado de penetración de la matriz de cal en la capa de fibra del no tejido vegetal.
3. En la *Ilustración 25* podemos observar la formación de una capa de sedimento cálcico entre capa y capa de fibra, posible resultado del laxo de tiempo de colocación entre una y otra capas, permitiendo el inicio del secado de la superficie de la capa.
4. Material poco homogéneo.

7.3.1.1 Identificación de elementos en la matriz

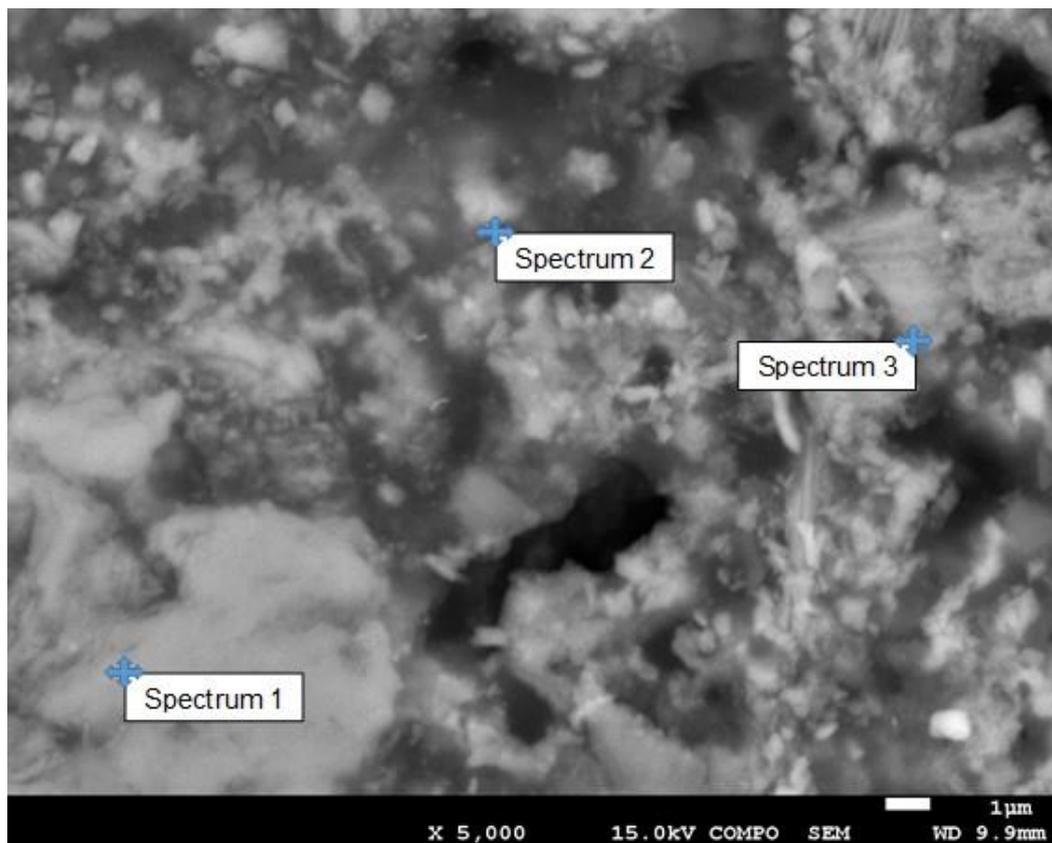


Ilustración 26 - Estudio micro estructural de la matriz.

Tabla 23 – Resultados de Spectrums – Ilustración 26.

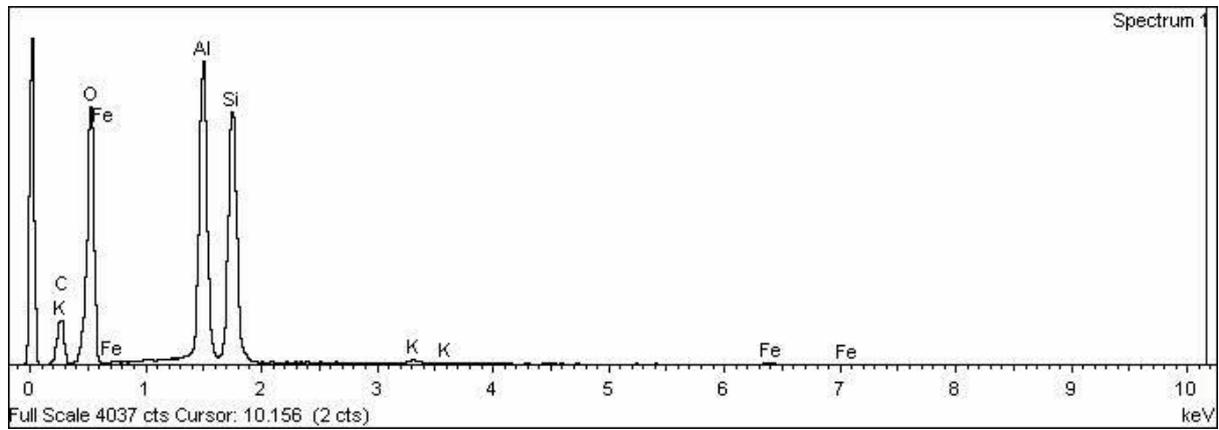
Spectrum	In stats.	C	O	Al	Si	K	Ca	Fe	Total
Spectrum 1	Yes	15.79	45.31	17.93	19.91	0.52		0.55	100.00
Spectrum 2	Yes	51.30	33.86	2.24	2.86		9.74		100.00
Spectrum 3	Yes	24.46	43.26	8.18	8.89		15.21		100.00
Max.		51.30	45.31	17.93	19.91	0.52	15.21	0.55	
Min.		15.79	33.86	2.24	2.86	0.52	9.74	0.55	

Fuente: Base de Datos SEM.

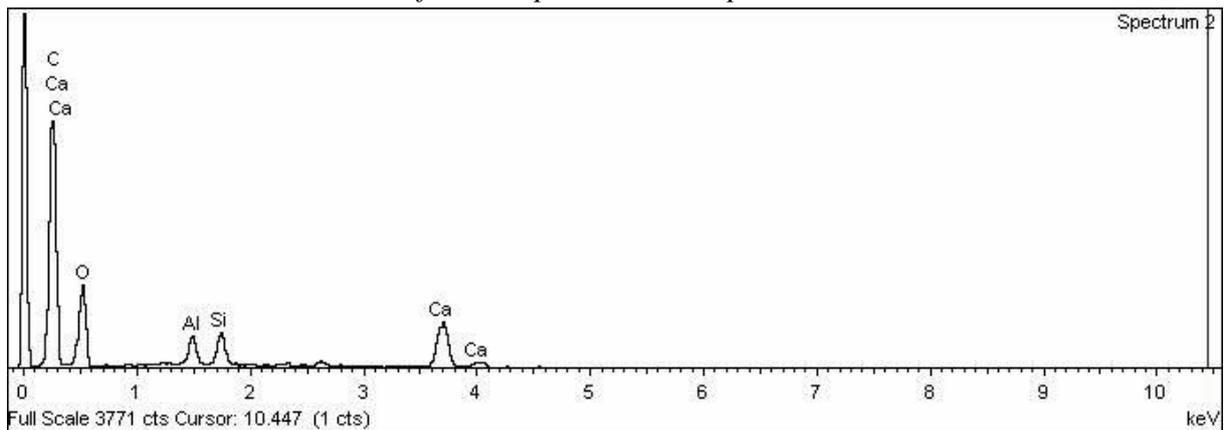
Observaciones generales:

- 1) En la *Ilustración 26* de acuerdo a la *Tabla 23* podemos observar la presencia de silicatos formados a partir de la adición del metacaolín presente en la pasta.

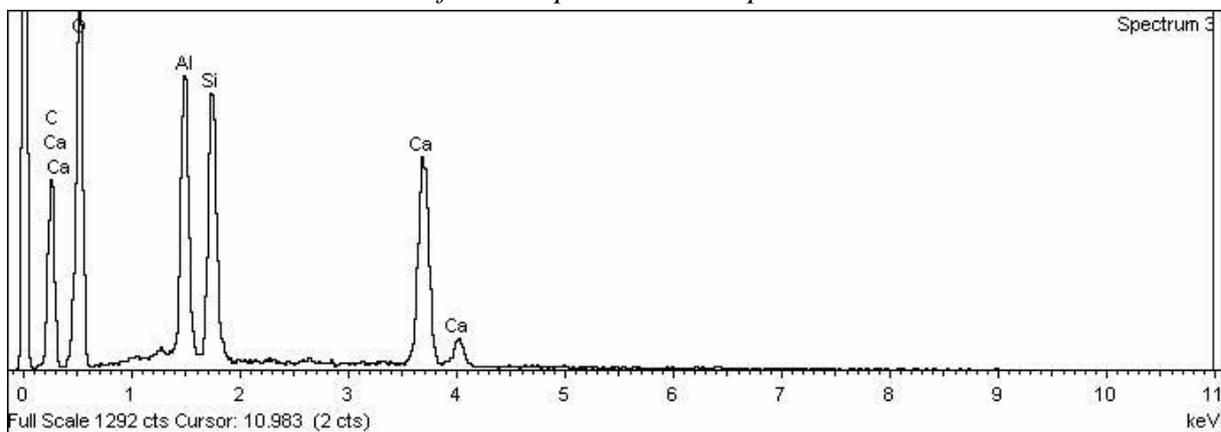
Gráfica 13 - para Valores Spectrum 1.



Gráfica 14 - para Valores Spectrum 2.



Gráfica 15 - para Valores Spectrum 3



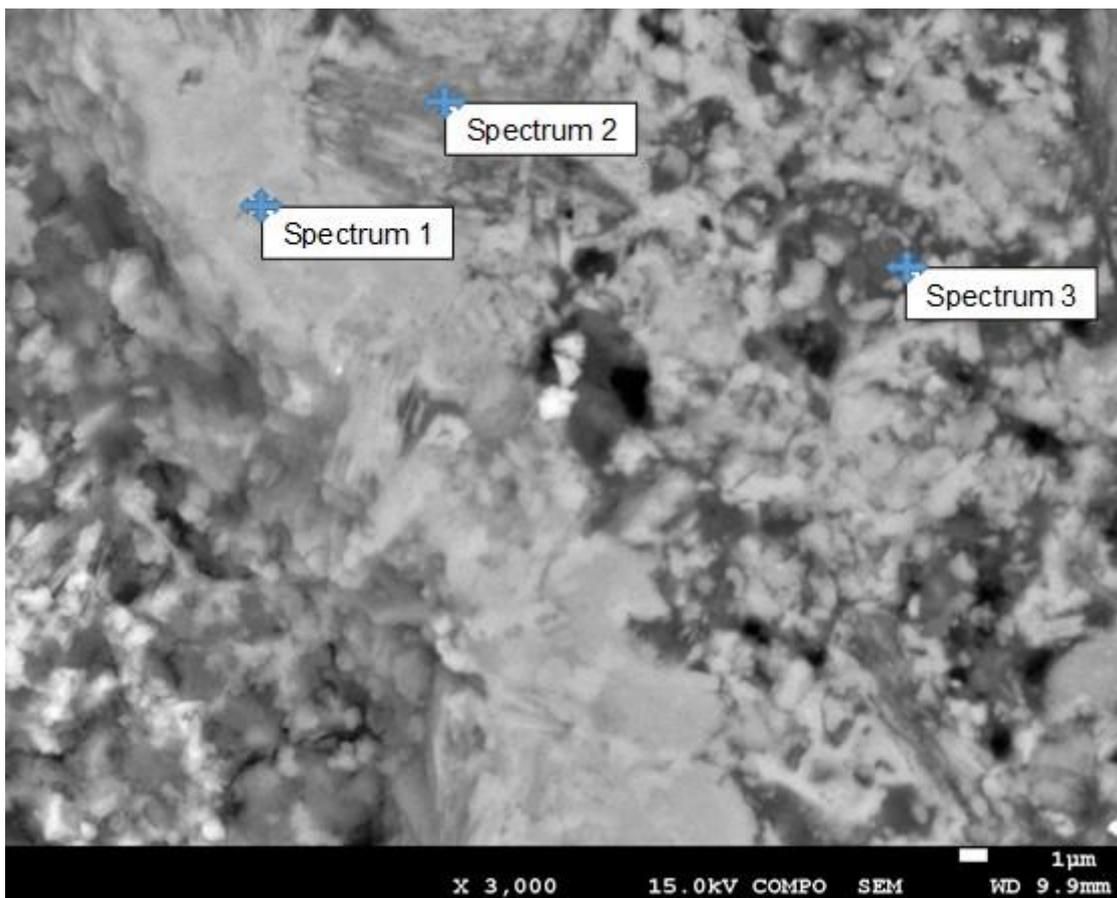


Ilustración 27 - Estudio Micro estructural Matriz

Tabla 24 – Resultados del Spectrum – Ilustración 27.

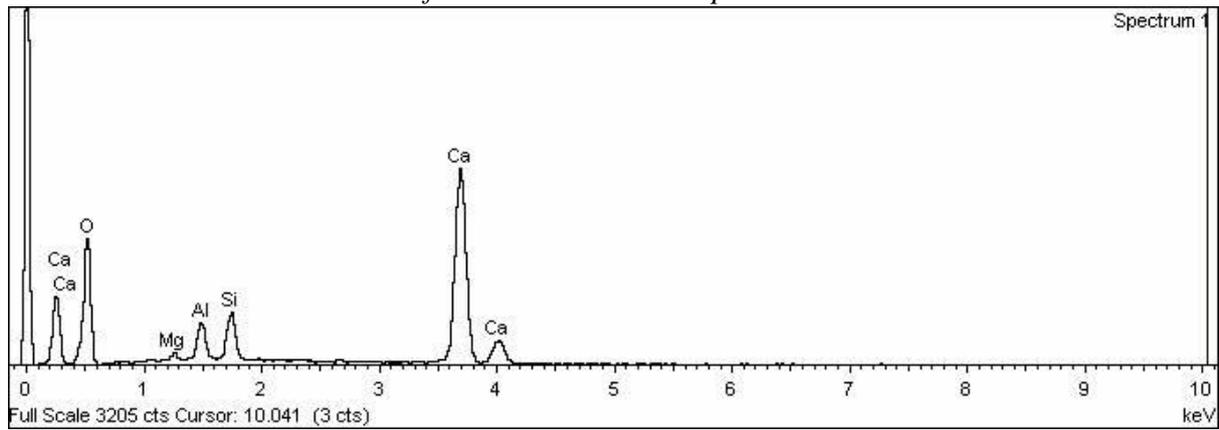
Spectrum	In stats.	C	O	Mg	Al	Si	Cl	K	Ca	Total
Spectrum 1	Yes		52.67	0.62	3.19	4.56			38.96	100.00
Spectrum 2	Yes	15.98	47.34	0.45	12.68	15.27		0.35	7.94	100.00
Spectrum 3	Yes	38.00	37.87	0.93	3.56	5.66	0.30		13.68	100.00
Max.		38.00	52.67	0.93	12.68	15.27	0.30	0.35	38.96	
Min.		15.98	37.87	0.45	3.19	4.56	0.30	0.35	7.94	

Fuente: Base de datos SEM

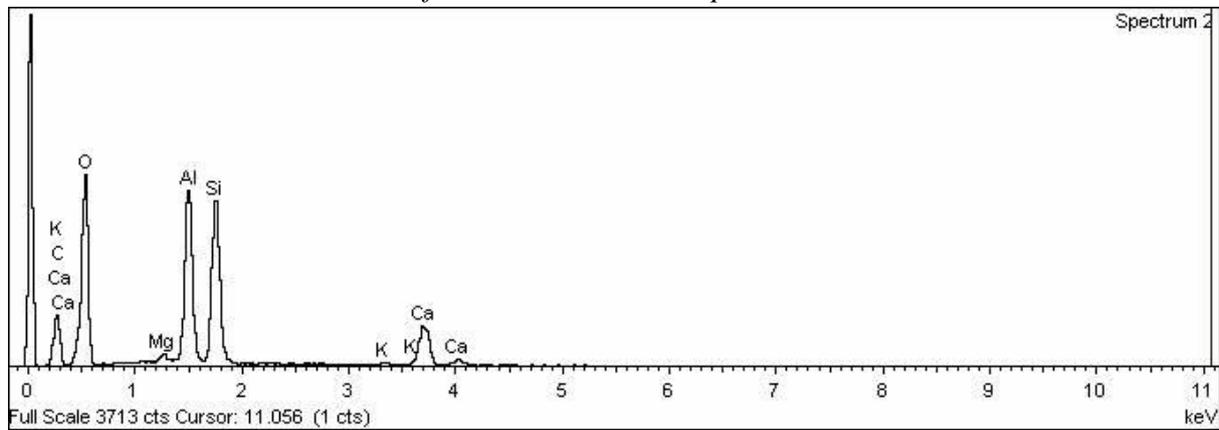
Observaciones generales:

- 1) En la *Ilustración 27* de acuerdo a la *Tabla 24* podemos observar la presencia de silicatos formados a partir de la adición del metacaolín presente en la pasta, así como la presencia de magnesio.

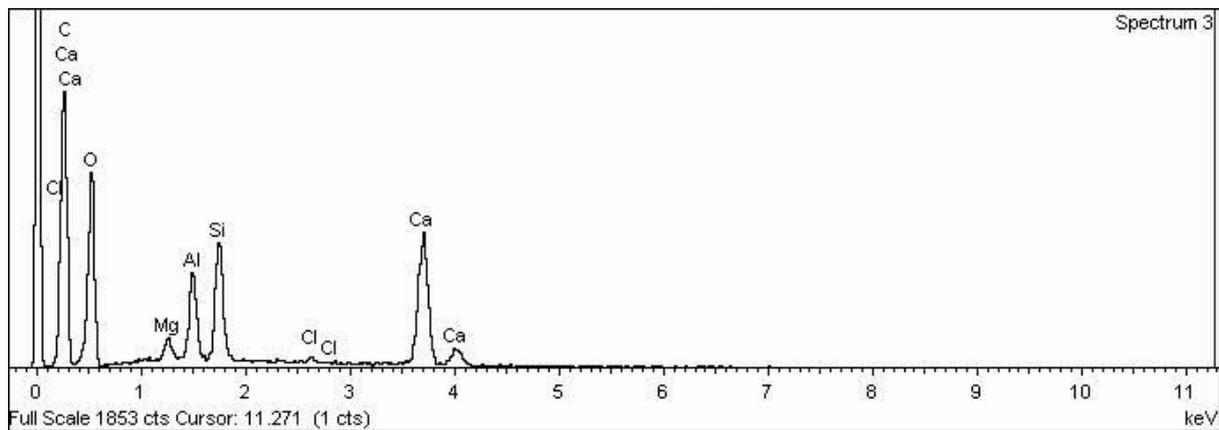
Gráfica 16 – Resultados Spectrum 1.



Gráfica 17 – Resultados Spectrum 2.



Gráfica 18 – Resultados Spectrum 3.



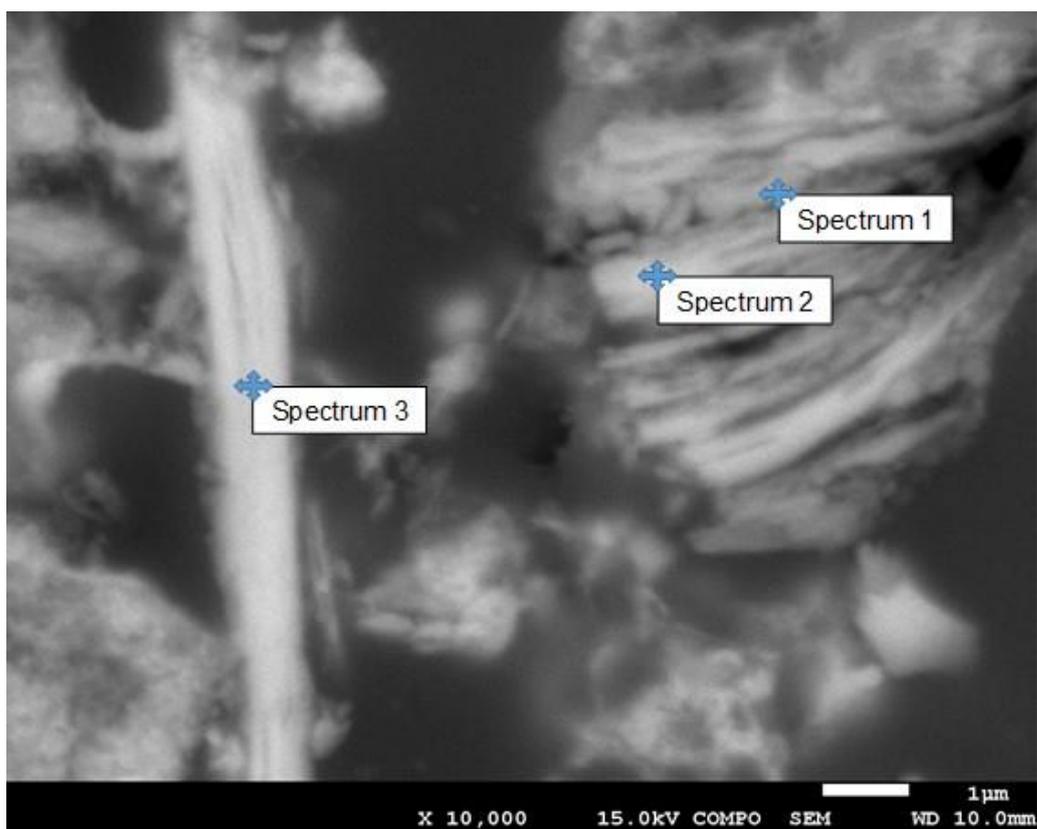


Ilustración 28 - Estudio Micro estructural Matriz.

Tabla 25 – Resultados del Spectrum - Ilustración 28.

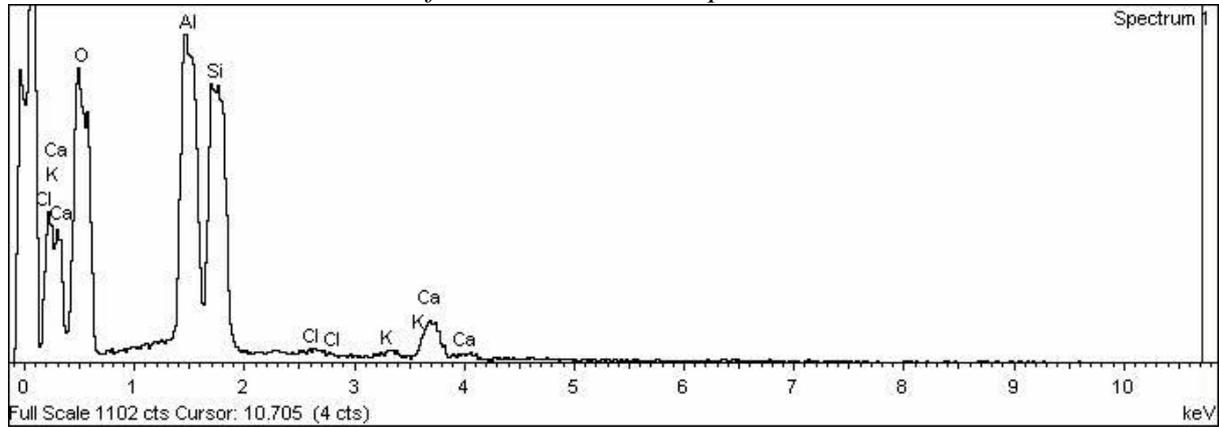
Spectrum	In stats.	O	Al	Si	Cl	K	Ca	Fe	Total
Spectrum 1	Yes	55.06	18.80	20.60	0.44	0.68	4.42		100.00
Spectrum 2	Yes	53.21	18.68	21.10			6.29	0.72	100.00
Spectrum 3	Yes	50.01	16.56	20.78		6.64	4.59	1.41	100.00
Max.		55.06	18.80	21.10	0.44	6.64	6.29	1.41	
Min.		50.01	16.56	20.60	0.44	0.68	4.42	0.72	

Fuente: Base de datos SEM.

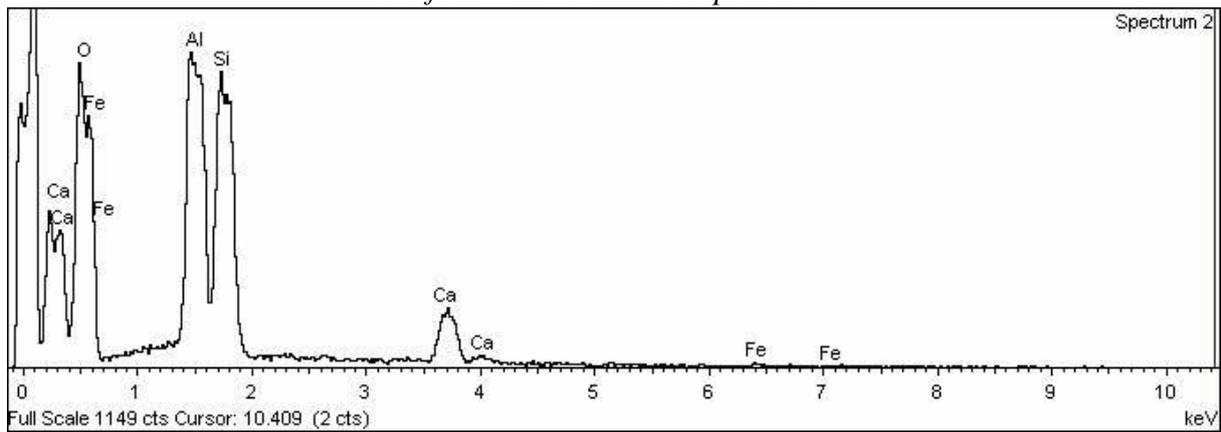
Observaciones generales:

- 1) En la *Ilustración 28* de acuerdo a la *Tabla 25* podemos observar la presencia de silicatos formados a partir de la adición del metacaolín presente en la pasta.

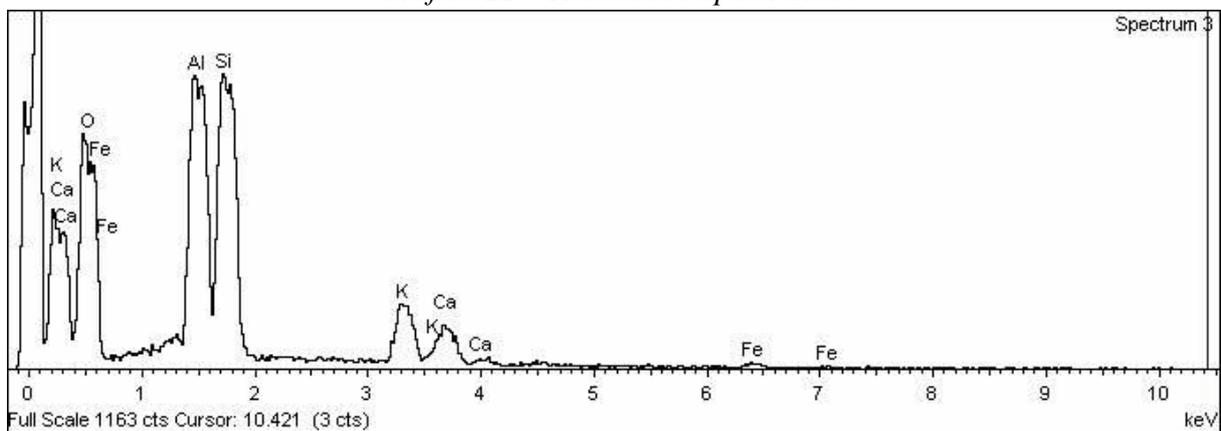
Gráfica 19 - Resultados Spectrum 1.



Gráfica 20 – Resultados Spectrum 2.



Gráfica 21 – Resultados Spectrum 3.



7.3.2 Fibra

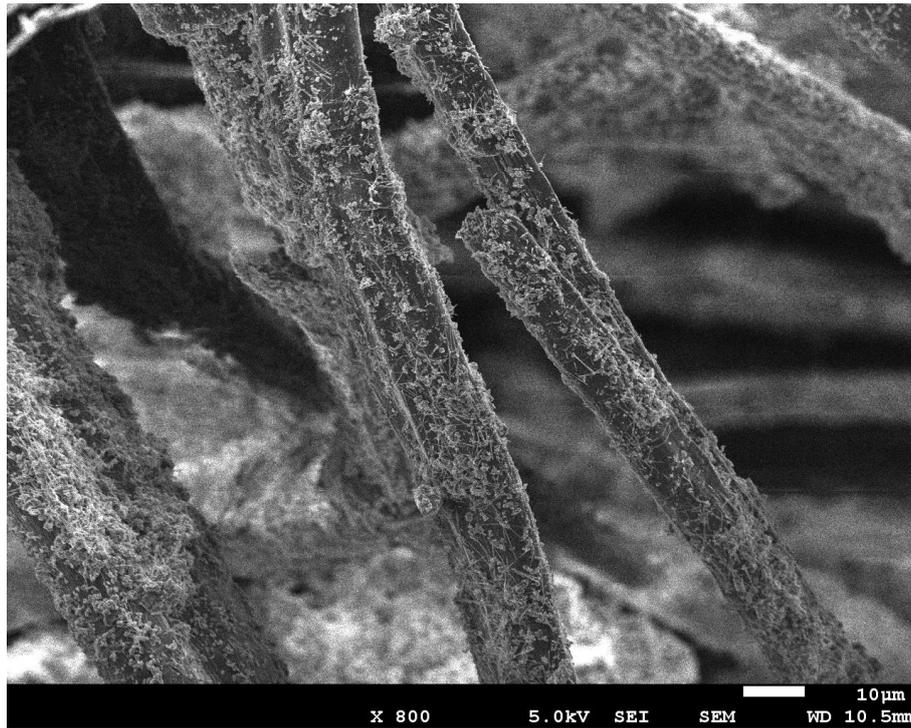


Ilustración 29 - Estudio micro estructural de la fibra.

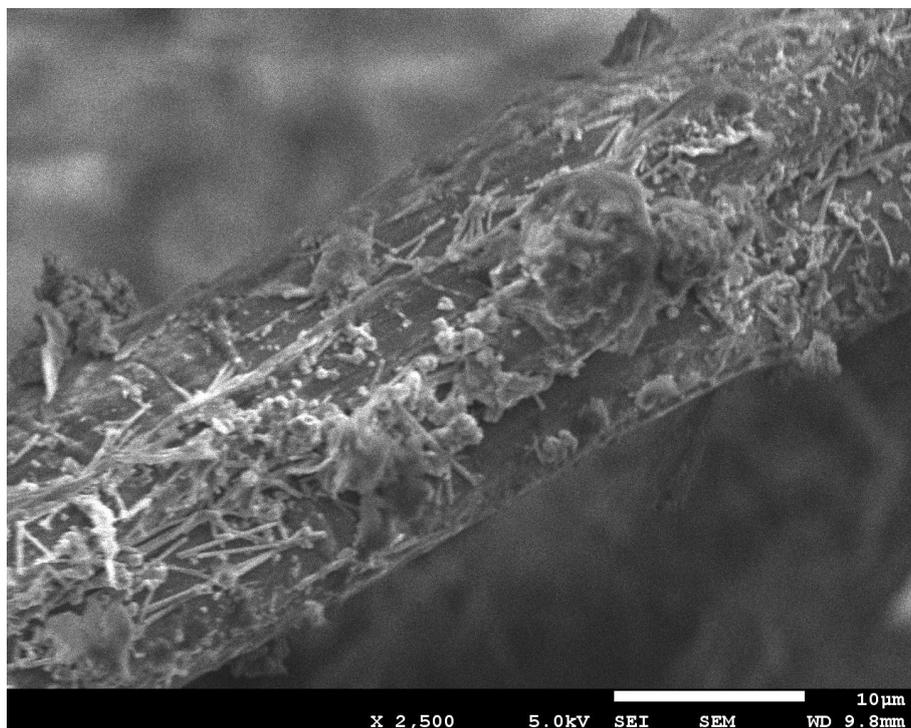


Ilustración 30 - Estudio micro estructural de la fibra.

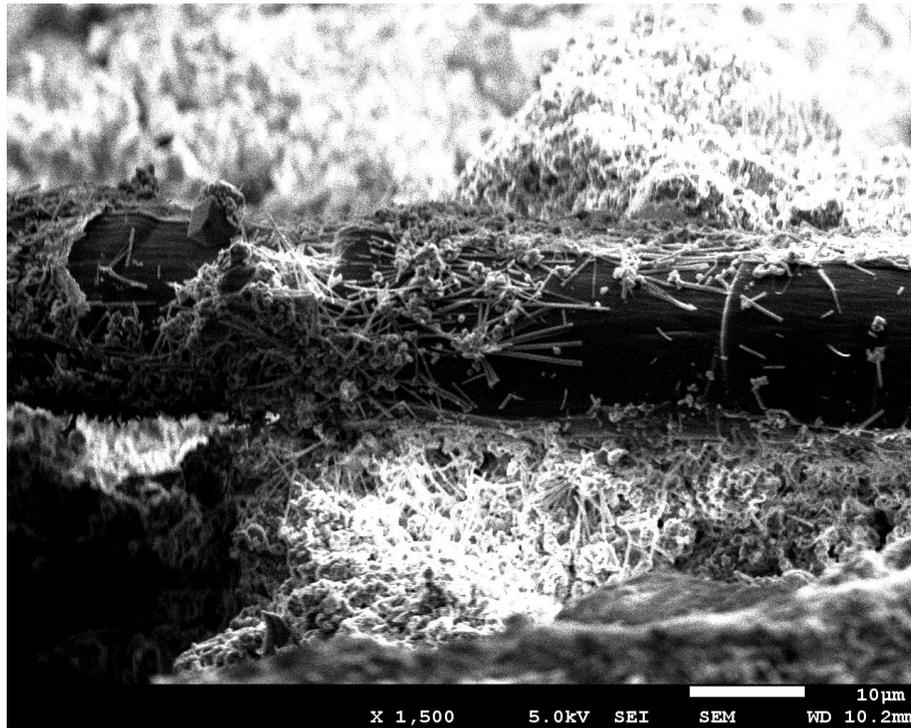


Ilustración 31 - Estudio micro estructural de la fibra.

Observaciones generales:

1. En la *Ilustración 29* y la *Ilustración 30* podemos observar un bajo grado de penetración de la matriz de cal en la manta de fibra del no tejido.
2. En la *Ilustración 29* podemos observar un maltrato de la fibra producto de la cristalización de matriz de cal.
3. En la *Ilustración 31* podemos observar la formación de diversos cristales alrededor de la fibra, pero no llegan a cubrirla en su totalidad.

8 CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES.

Para finalizar este trabajo de investigación sobre el refuerzo de morteros de cal con no tejidos de fibras vegetales y conforme con los resultados obtenidos tanto de los ensayos de resistencia mecánica como de los estudios microestructurales, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

8.1 *Ensayo de Resistencia Mecánica*

Gracias al ensayo de resistencia mecánica al que fueron sometidas todas las probetas elaboradas, fue posible identificar las muestras que presentaron las mejores características y comportamiento, destacándose la mejor matriz de todas las estudiadas en este trabajo. Así como también el número de capas que proporciono mayor resistencia y mejores características.

Como podemos observar en las gráficas (2, 3 y 4) y según los resultados del ensayo a flexión, la matriz sin refuerzo que presento el mejor comportamiento consiguiendo una resistencia de unos 5,47 MPa corresponden a la Matriz B, dicha matriz conformada por un 80% de cal hidráulica (NHL 3,5) y un 20% de Metacaolín, esto debido a que dicho porcentaje de Metacaolín es el óptimo que esta cal hidráulica puede llegar a contener para que todas sus moléculas reaccionen sin desperdicio, ni sobre saturación. (Ver Anexos)

En cuanto a la las Matrices reforzadas con 4 capas de fibra la que mayor resistencia presento según el ensayo de resistencia a flexión, llegando a alcanzar un valor de 2,57 MPa corresponde a la matriz A, sin embargo, para las matrices reforzadas con 5 capas de fibra tenemos una resistencia similar tanto la matriz A como la matriz D, llegando a alcanzar resistencias de 2,75 MPa y 2,90 MPa respectivamente.

De acuerdo con los resultados el refuerzo de no tejido vegetal de fibra de lino, no aporta una mejora en la resistencia del material, sin embargo, este si mejora su capacidad de deformación aportando una mayor deformabilidad en un tiempo

determinado. Dicha mejora da lugar a su posible utilización en temas de intervención en revestimientos de muros contra actividad sísmica.

Cabe destacar que las matrices reforzadas con 5 capas de fibra presentaron un módulo de elasticidad menor que las de cuatro capas, lo permitir una mayor deformación y al mismo tiempo una mayor resistencia. Siento nuestra matriz B la que menor módulo de elasticidad presenta tanto para 4 como para 5 capas de fibra, de acuerdo con la gráfica 7.

La matriz reforzada colocada sobre ladrillo que mejor resistencia presenta según el ensayo a flexión, es la matriz B con un valor de 5,58 MPa, presentando igualmente uno de los módulos de elasticidad más altos dentro de las matrices estudiadas sobre ladrillo.

Se distingue una gran diferencia entre de los estudios previos con materiales no tejidos de fibra natural como refuerzo para la matriz cementosa y los estudiados en este trabajo. Los no tejidos de fibra natural conducen a un aumento del rendimiento mecánico de los cementos de fibra, especialmente al aumentar su ductilidad. Presentan de igual forma una muy buena unión matriz-fibra, dichas matrices cementosas conducen a compuestos con valores más altos de LOP, MOE y dureza [15] [19].

8.2 Ensayo Microestructural

De acuerdo al estudio micro estructural de las matrices realizado mediante el uso de un microscopio electrónico de barrido SEM, pudimos determinar con detalle el grado de penetración de la cal en la fibra de refuerzo, en cada una de las probetas. También fue posible identificar la homogeneidad del material compuesto.

Los resultados más favorables de este estudio se muestran en las probetas elaboradas con la Matriz D, la misma conformada por un 80% de Cal en pasta (CL90) y un 20% de Metacaolín, presentando un alto grado de penetración de la matriz en la capa del no tejido, a diferencia de las demás matrices en las que se

observó que la matriz no llegó a penetrar lo suficiente la fibra para que se originara un comportamiento más homogéneo del material compuesto.

8.3 Recomendaciones

Con el propósito de dar continuidad futura a este trabajo de investigación, se enumeran una serie de recomendaciones derivadas de los resultados obtenidos:

- 1) Se recomienda realizar nuevos ensayos de laboratorios incorporando un nuevo procedimiento de impregnación de la matriz en las capas de fibras ya sea agregando más agua a la matriz o aplicando un proceso a la fibra distinto del que se usó.
- 2) Para futuras investigaciones que deseen tomar como referencias el uso de la cal con el no tejido recomendamos tomar como punto de partida la dosificación de la Matriz B, así como también, el uso de la cal en pasta.
- 3) Con relación a su puesta en obra de este material compuesto, se recomienda conseguir mayor adherencia de este material a las superficies rugosas como el ladrillo para mejorar su comportamiento como material compuesto.
- 4) Se recomienda analizar estas matrices reforzadas en situaciones de sismo, para comprobar los beneficios que puede aportar el no tejido a los morteros de revestimiento en dichas condiciones.
- 5) Se recomienda realizar ensayos de durabilidad para todos los tipos de matrices estudiadas en este trabajo de investigación, para determinar si el no tejido de fibra vegetal es el más apto para reforzar este tipo de mortero de cal.

9 BIBLIOGRAFÍA

1. Sepulcre Aguilar Alberto. (2005). ***Influencia de las adiciones puzolánicas en los morteros de restauración de fábricas de interés histórico-artístico.*** Tesis Doctoral. Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Madrid, España.
2. (2004/2005). Ciencia de materiales. ***Materiales compuestos.*** Extraído de: http://webdeptos.uma.es/qicm/Doc_docencia/Tema7_CM.pdf
3. Bawden A.D. y Kibblewhite R.P. (1997). ***Effects for multiple drying treatments on kraft fibre walls.*** Journal of Pulp and Paper Science: Vol. 23.
4. Beraldo A. Ludovico, Geraldo Rodrigo H. y Camarini Gladis. (2014). ***Accelerated carbonation in natural fibers reinforced composites.*** Amazonas, Brasil.
5. Sabanés Hernández María Alethia. (2013). ***Uso de no tejidos de fibras en matrices de cemento para materiales de construcción.*** Tesis master. Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona, España.
6. Alejandro S. Francisco J., Flores A. Vicente, Blasco L. Francisco J. y Martín Del Río Juan J. (2014). ***La Cal - Investigación, patrimonio y restauración.*** Universidad de Sevilla. Sevilla. España.
7. O. Cizer, K. Van Balen, J. Elsen, D Van Gement. (2008). ***Crystal morphology of precipitated calcite crystals from accelerated carbonation of lime binders.*** Roma, Italia.
8. Ardanuy Mónica, Claramunt Josep y Toledo F. Romildo D. (2015). ***Cellulosic fiber reinforced cement-based composites: a review of recent research.*** Barcelona, España.
9. Claramunt J, Ardanuy M, García-Hortal JA, Toledo Filho RD, (2011). ***“The hornification of vegetable fibers to improve the durability of cement mortar composites,”*** Cement & Concrete Composites 33, p. 586–595.
10. Claramunt J, Ardanuy M, García-Hortal JA, (2010). ***“Effect of drying and rewetting cycles on the structure and physicochemical characteristics of softwood fibres for reinforcement of cementitious composites,”*** Carbohydr. Polym. 79, p. 200-205.
11. Ardanuy M, Antunes M, Velasco JI, (2012). ***“Vegetable fibres from agricultural residues as thermo – mechanical reinforcement in recycled polypropylene-based green foams,”*** Waste Management 32, p. 256–263.

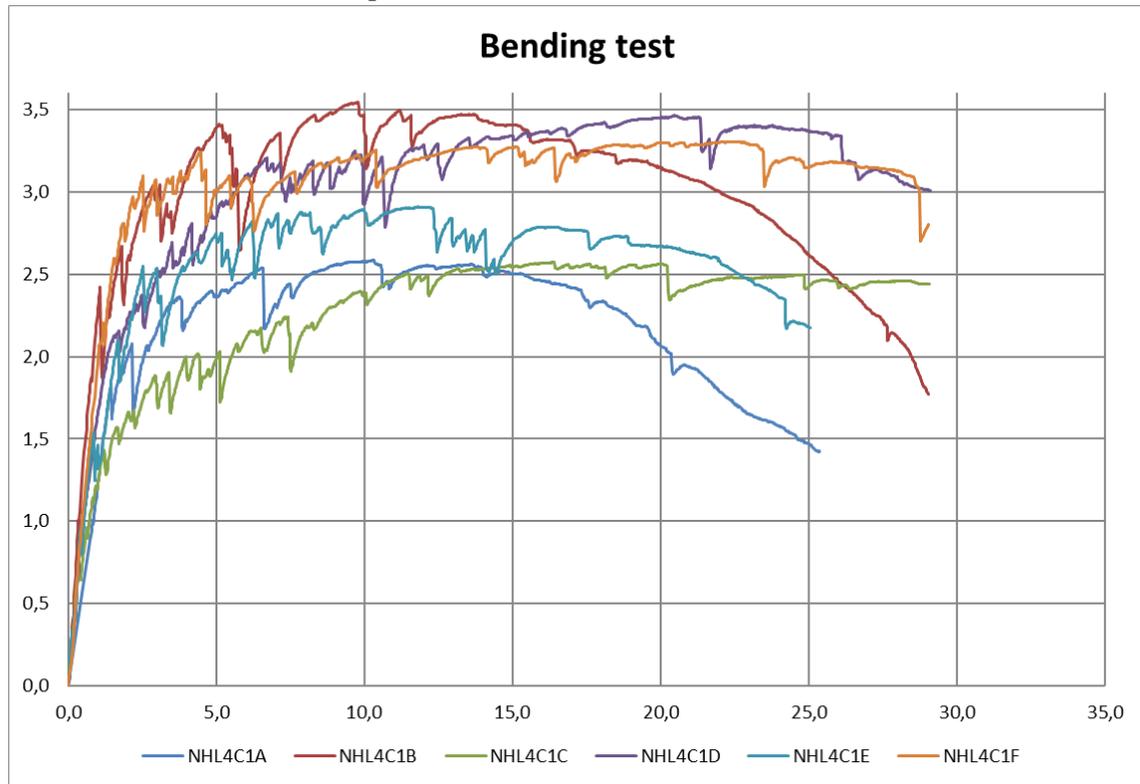
12. Mejía B. JE, Santos SF, Mármol G, Savastano Jr H, Fiorelli J. (2015). **Evaluation of cellulosic pulps treated by hornification as reinforcement of cementitious composites.** Construction and Building Materials.
13. Ventura, H., Ardanuy, M., Capdevila, X., Cano, F. and Tornero, J. A., (2014). **“Effects of needling parameters on some structural and physico-mechanical properties of needle-punched nonwovens”** J. Text. Inst. 105 (10) 1065–1075.
14. Di Bella G., Fiore V., Galtieri G., Borsellino C. y Valenza A. (2014). **“Effects of natural fibres reinforcement in lime plasters (kenaf and sisal vs. Polypropylene)”**. Construction and Building Materials 58, 159-165. Italia.
15. Claramunt J., Fernández-Carrasco L. y Ardanuy M. (2014). **Mechanical behavior of flax nonwoven cement composites.** International RILEM Conference on Strain Hardening Cementitious Composites. Dordrencht, The Netherlands.
16. Askouni Paraskevi D. y Papanicolaou Catherine G. (2014). **Comparison of double-lap/double-prism and single-lap/single-prism shear tests for the TRM-to-Masonry bond assessment.** 3rd International RILEM Conference on Strain Hardening Cementitious Composites. Rio, Greece.
17. Nezerka V., Slizková Z., Tesáarek P., Plachý T., Frankeová D. y Petránová V. (2014). **Comprehensive study on mechanical properties of lime-based pasted with additions of metakaolin and brick dust.** Cement and Concrete Research 64, 17-29. Czech Republic.
18. Gameiro A., Santos Silva A., Faria P., Grilo J., Branco T., Veiga R. y Velosa A. (2014). **Physical and chemical assessment of lime-metakaolin mortars: influence of binder: aggregate ratio.** Cement and Concrete Composites 45, 264-271. Portugal.
19. Claramunt Josep, Fernández-C. Lucía J., Ventura Heura, Ardanuy Mònica. (2016). **Natural fiber nonwoven reinforced cement composites as sustainable materials for building envelopes.** Construction and Building Materials. Barcelona, España.

9.1 Normativas Utilizadas

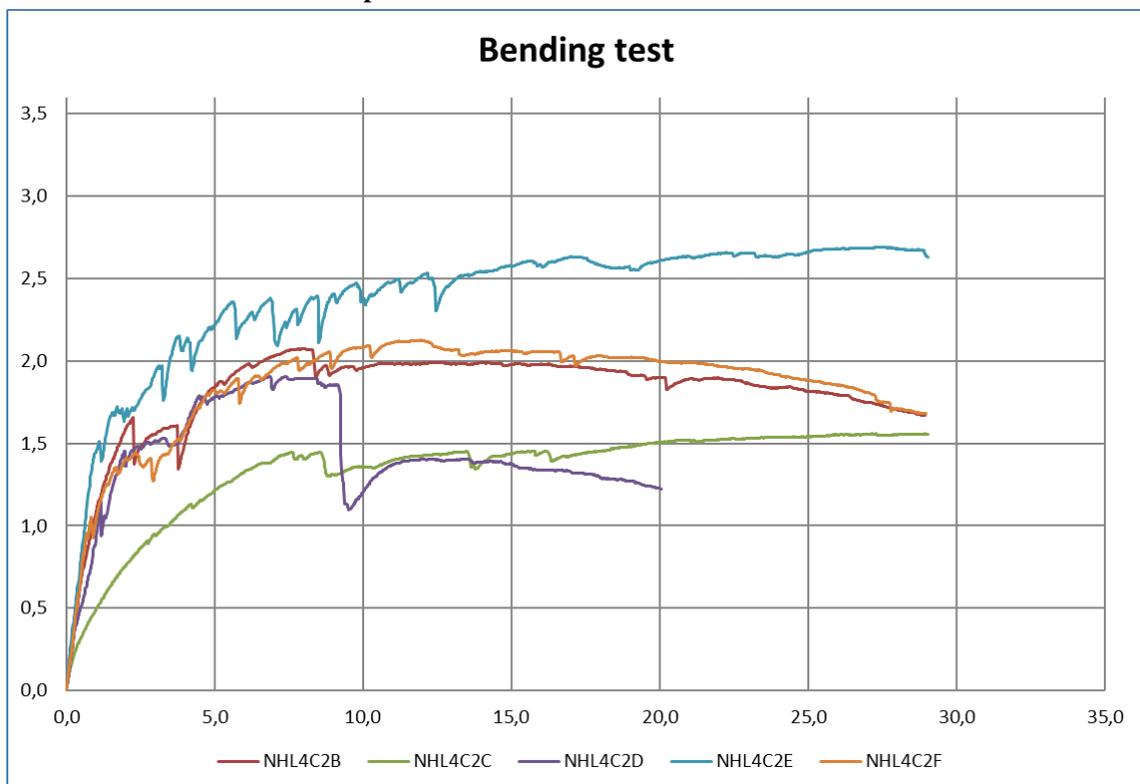
1. **UNE EN 459-1:2016**, Cales para la construcción. Definiciones, especificaciones y criterios de conformidad.
2. **UNE EN 459-2:2011**, Cales para la construcción. Parte 2: Métodos de ensayo.
3. **UNE EN 459-3:2016**, Cales para la construcción. Parte 3: Evaluación de la conformidad.

10 ANEXOS

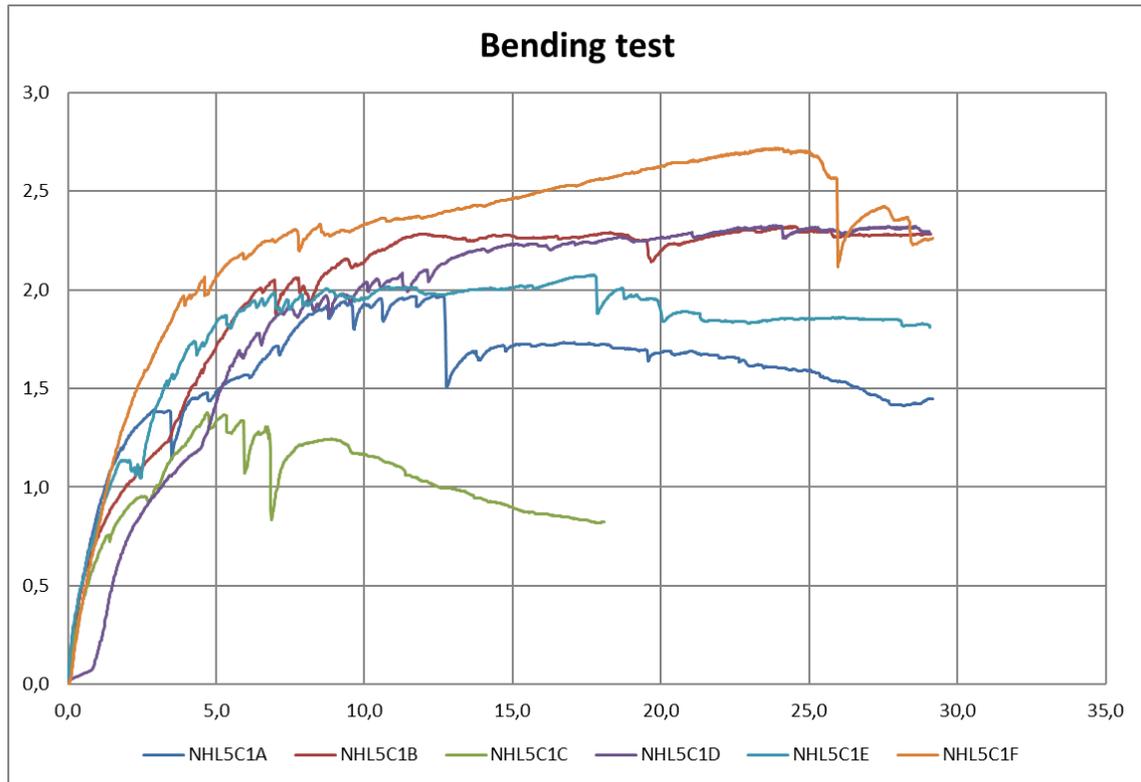
Grafica 22 – Matriz A Reforzada 4 capas Muestra 1



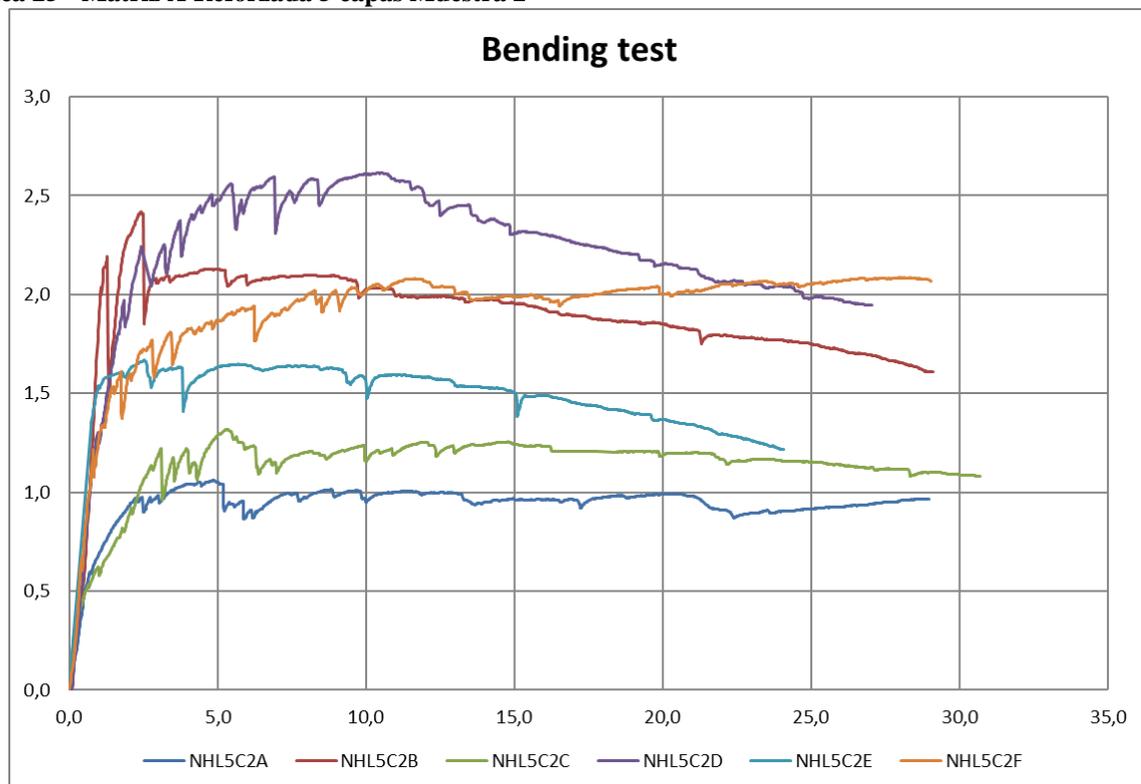
Grafica 23 - Matriz A Reforzada 4 capas Muestra 2



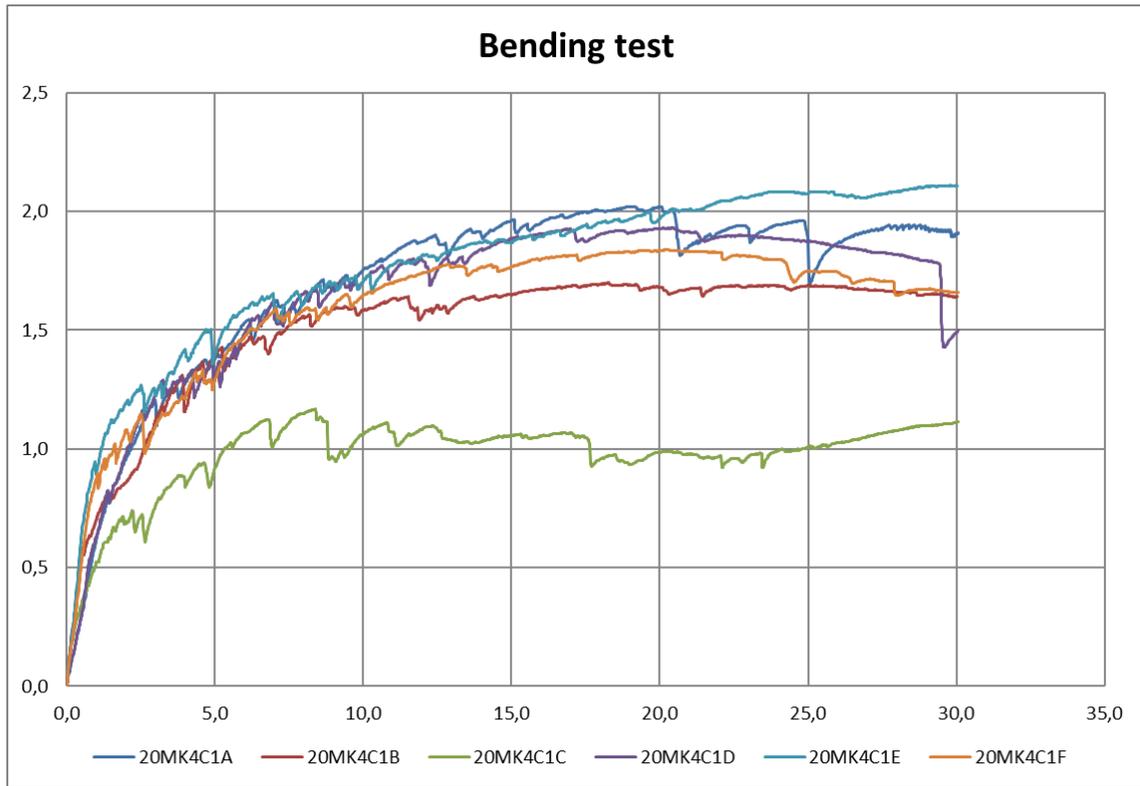
Grafica 24 - Matriz A Reforzada 5 capas Muestra 1



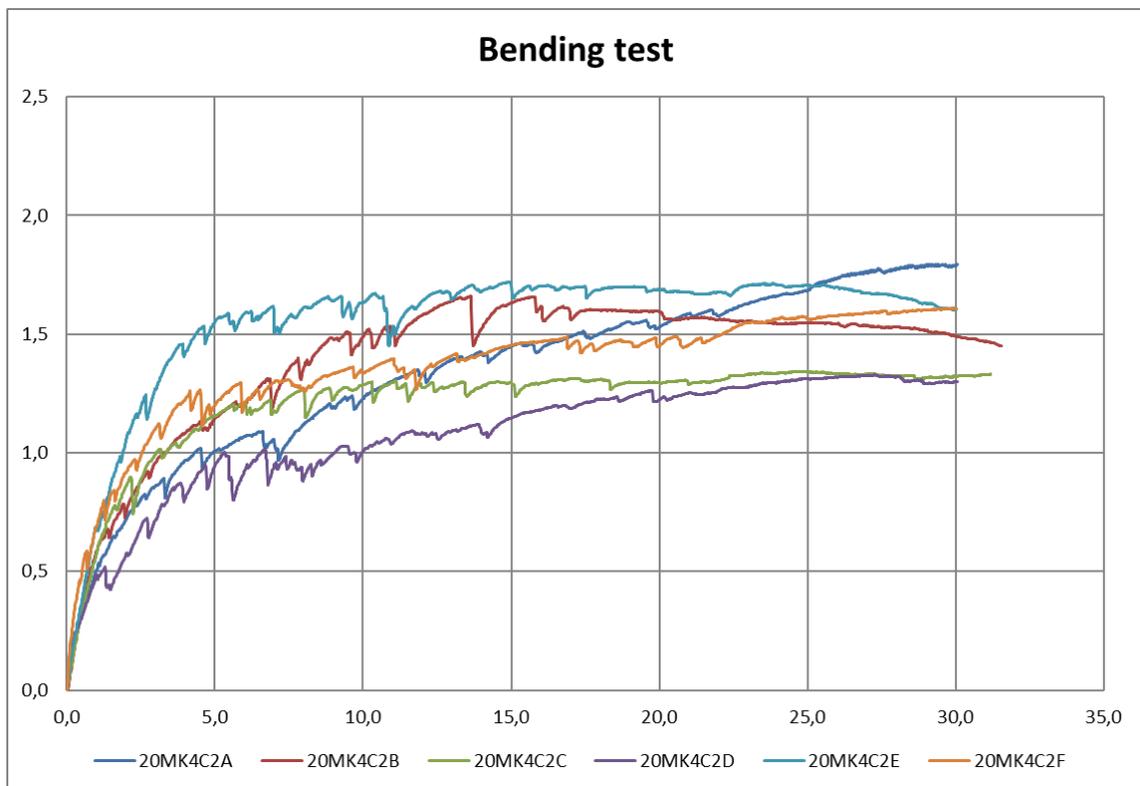
Grafica 25 - Matriz A Reforzada 5 capas Muestra 2



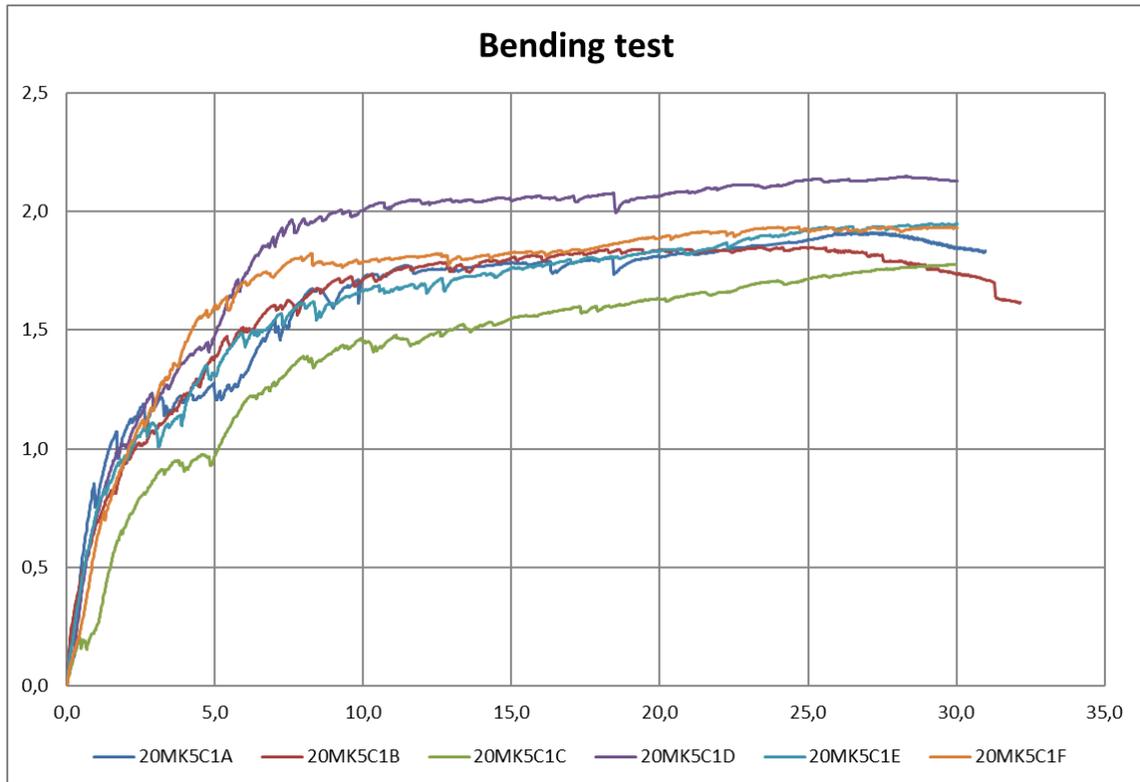
Grafica 26 - Matriz B Reforzada 4 capas Muestra 1



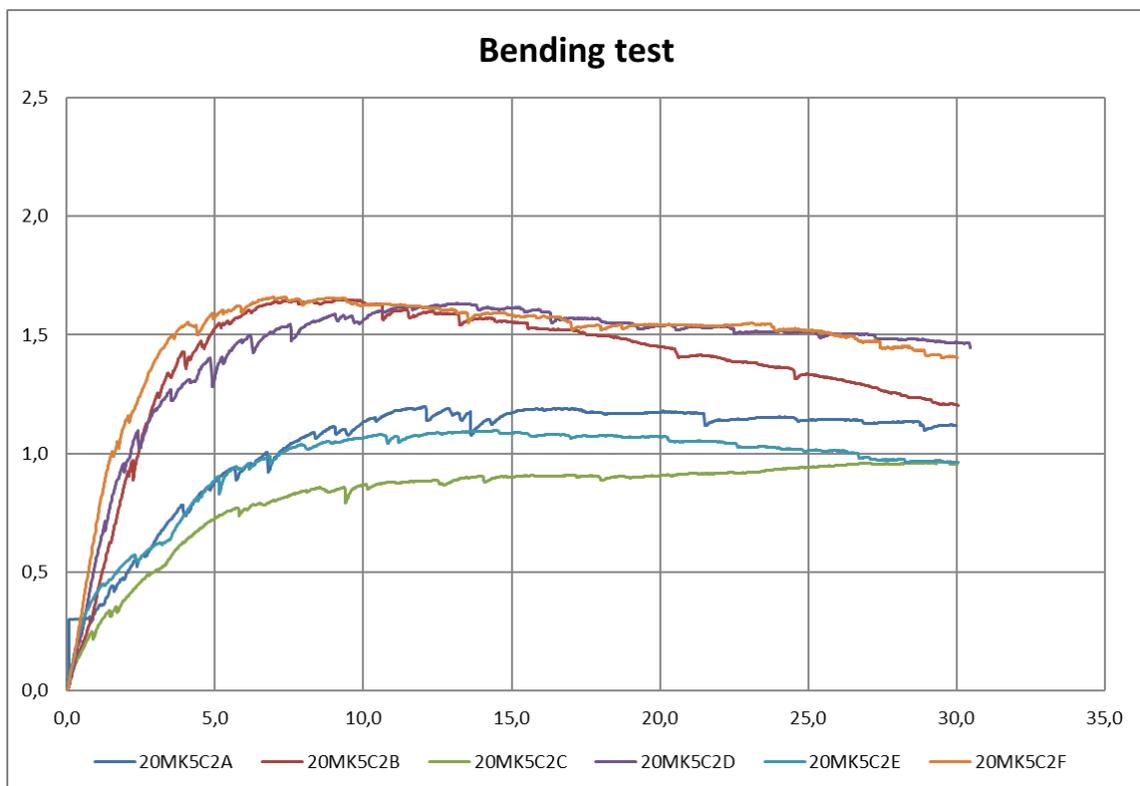
Grafica 27 - Matriz B Reforzada 4 capas Muestra 2



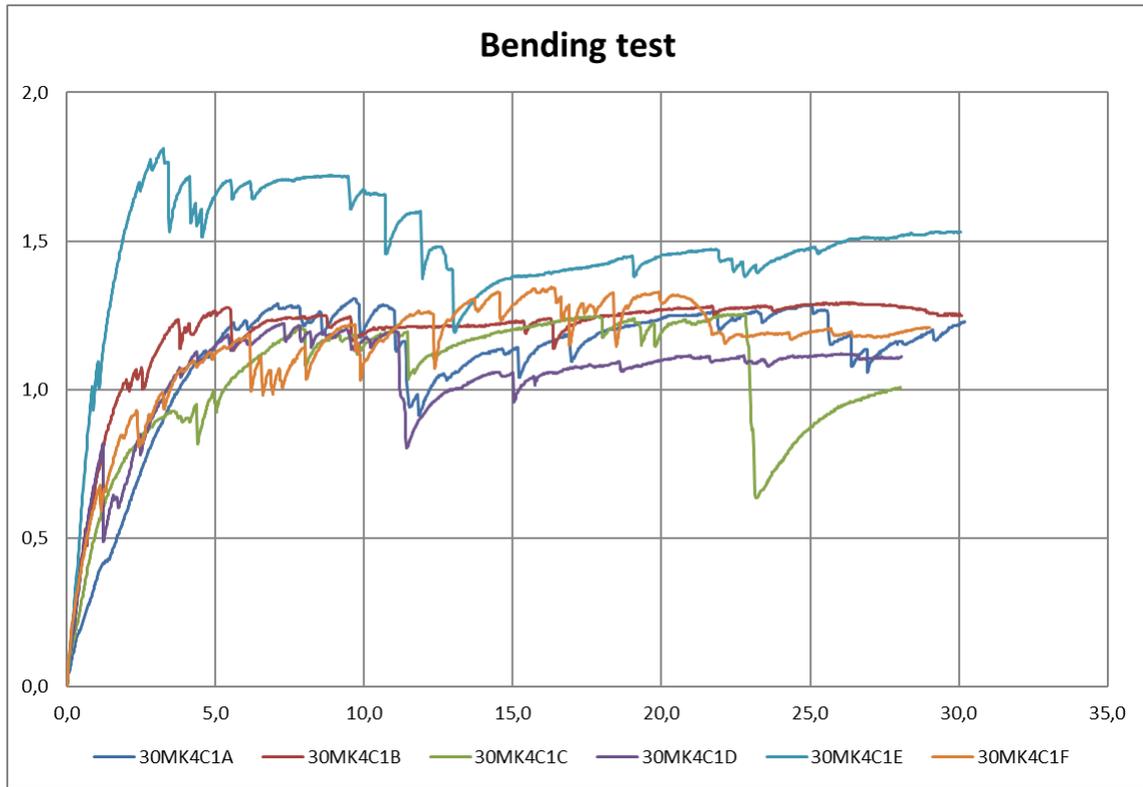
Grafica 28 - Matriz B Reforzada 5 capas Muestra 1



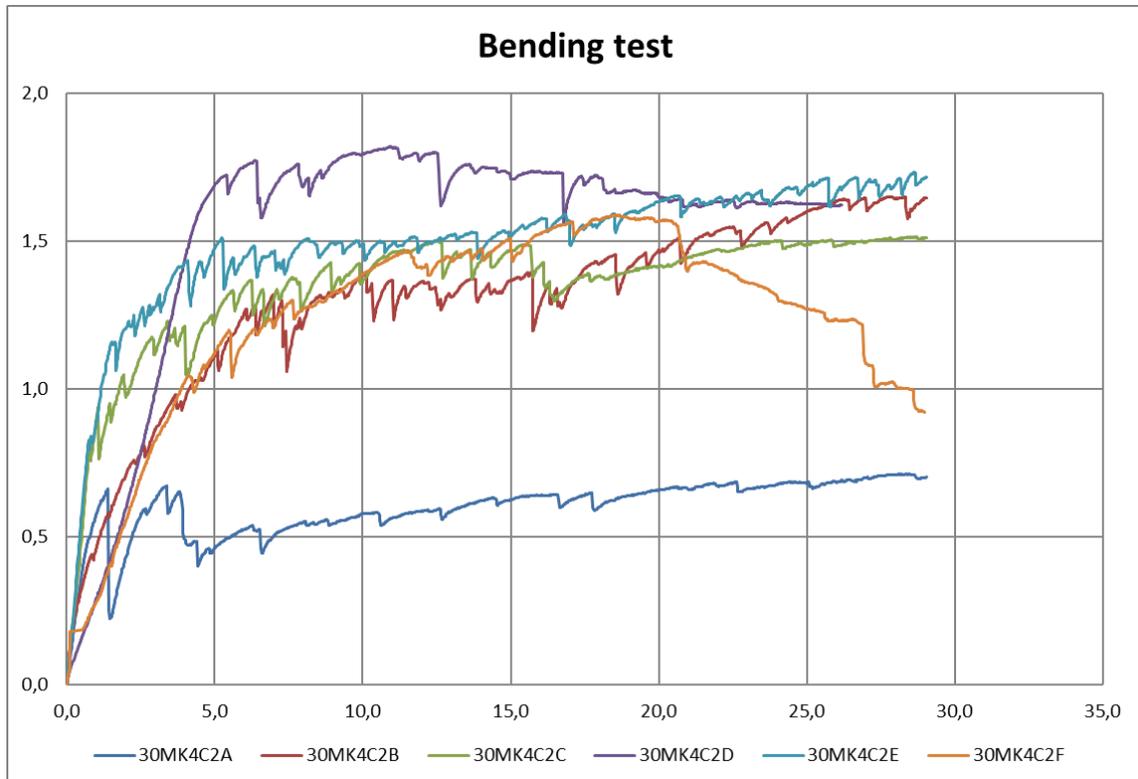
Grafica 29 - Matriz B Reforzada 5 capas Muestra 2



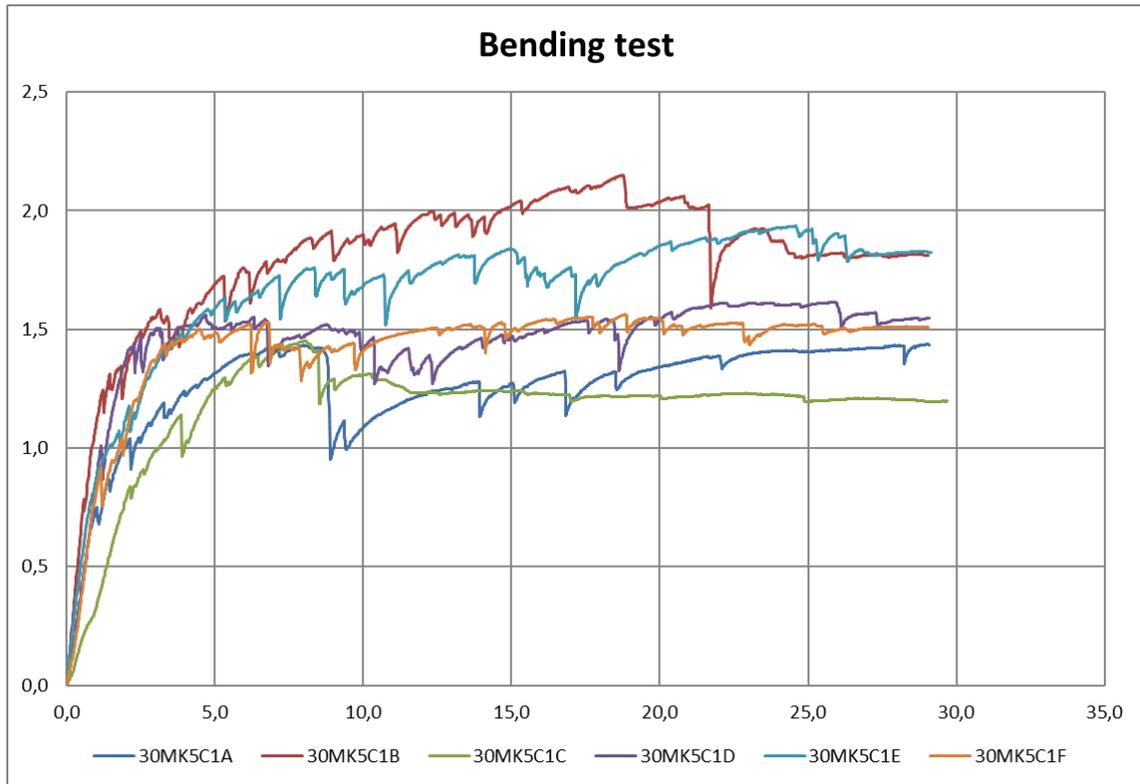
Grafica 30 - Matriz C Reforzada 4 capas Muestra 1



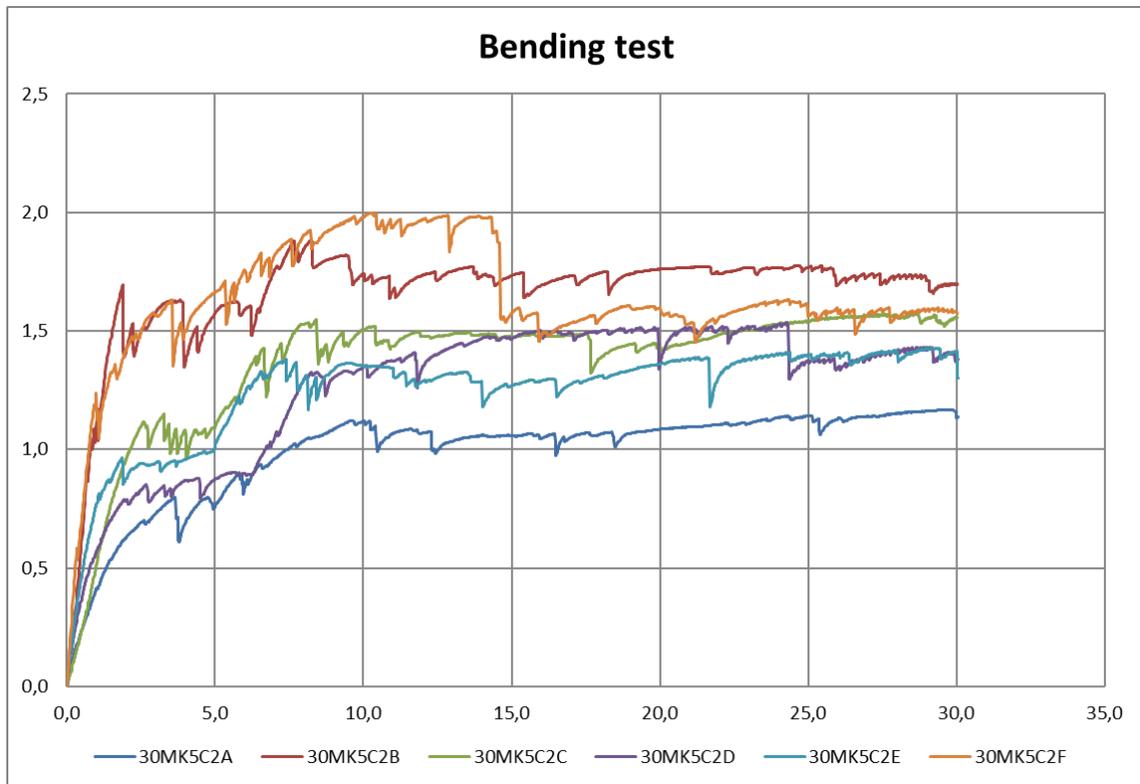
Grafica 31 - Matriz C Reforzada 4 capas Muestra 2



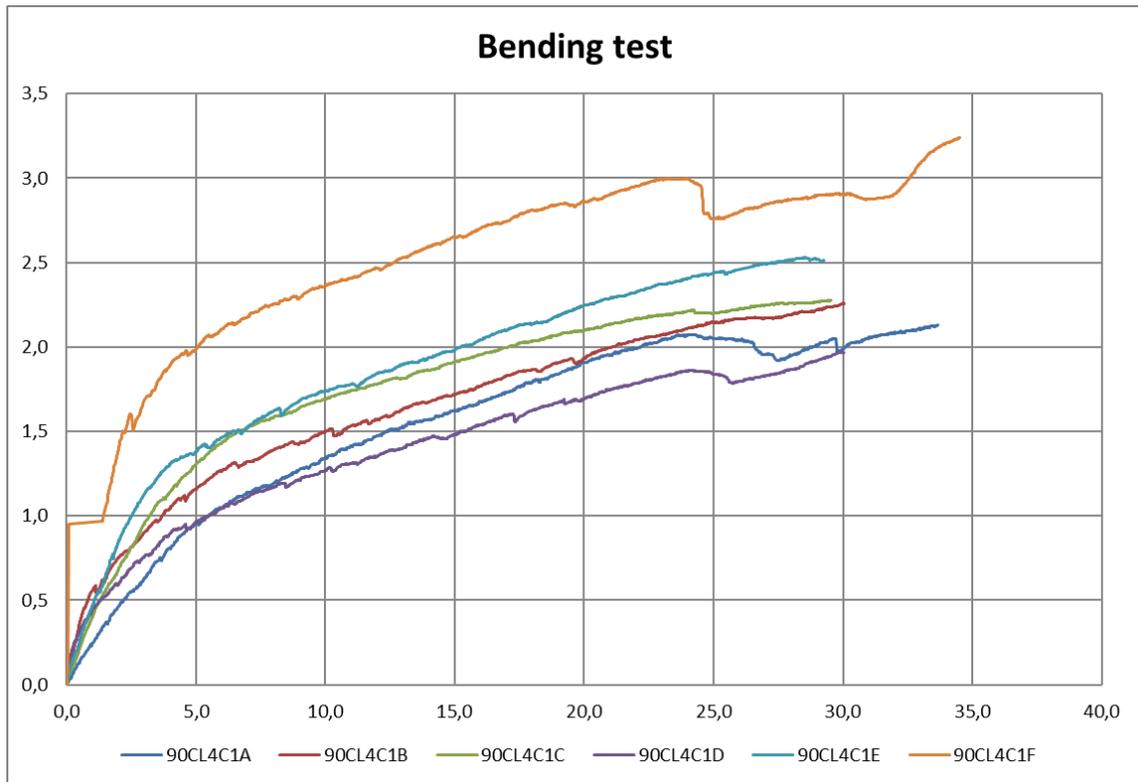
Grafica 32 - Matriz C Reforzada 5 capas Muestra 1



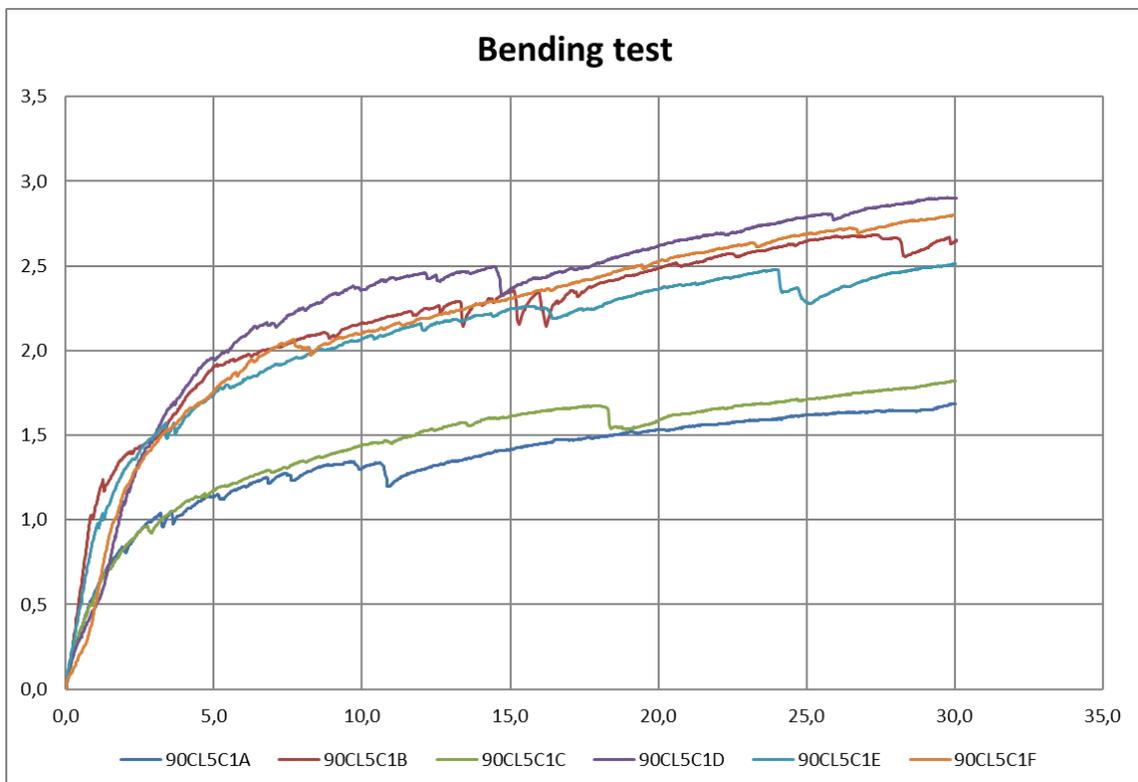
Grafica 33 - Matriz C Reforzada 5 capas Muestra 2



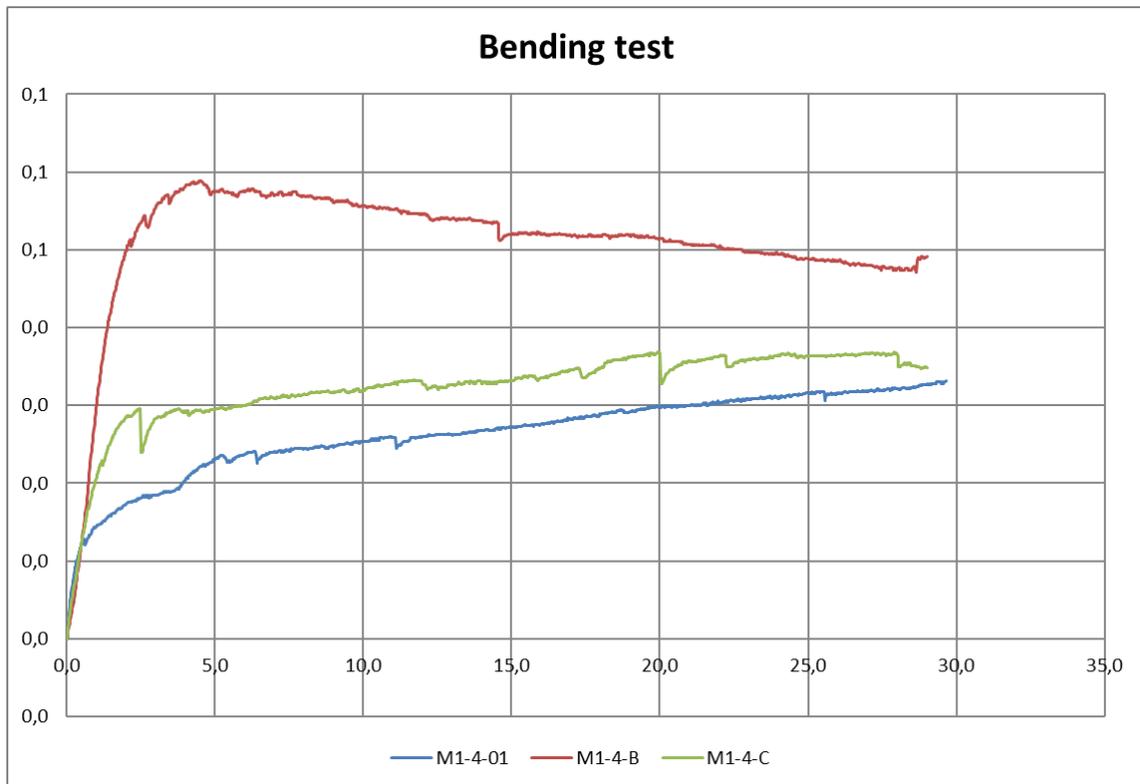
Grafica 34 - Matriz D Reforzada 4 capas Muestra 1



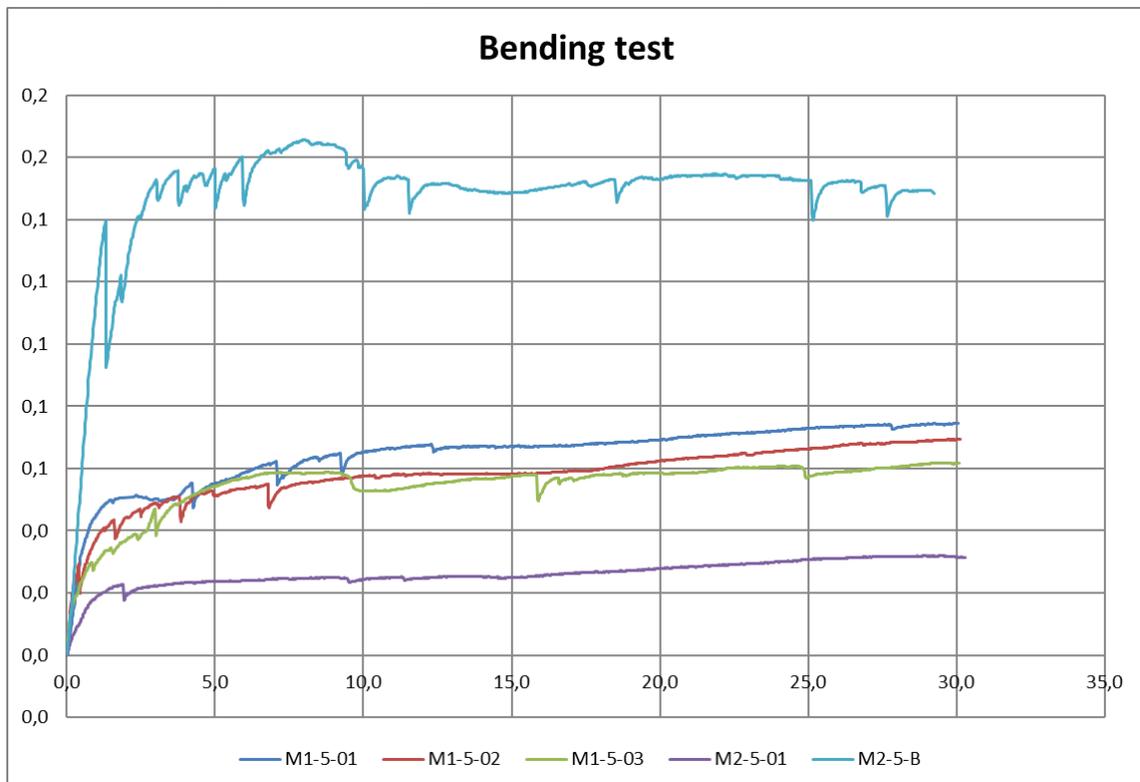
Grafica 35 - Matriz D Reforzada 5 capas Muestra 1



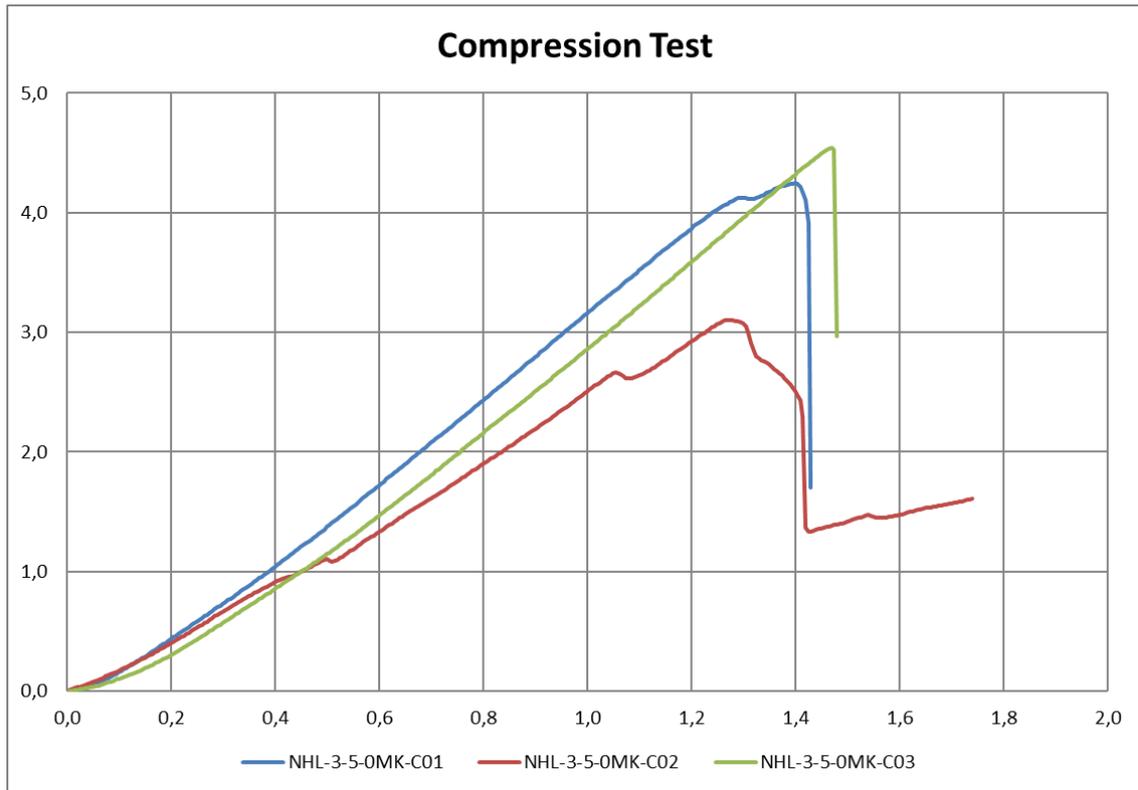
Grafica 36 – Método 1 Refuerzo 4 Capas



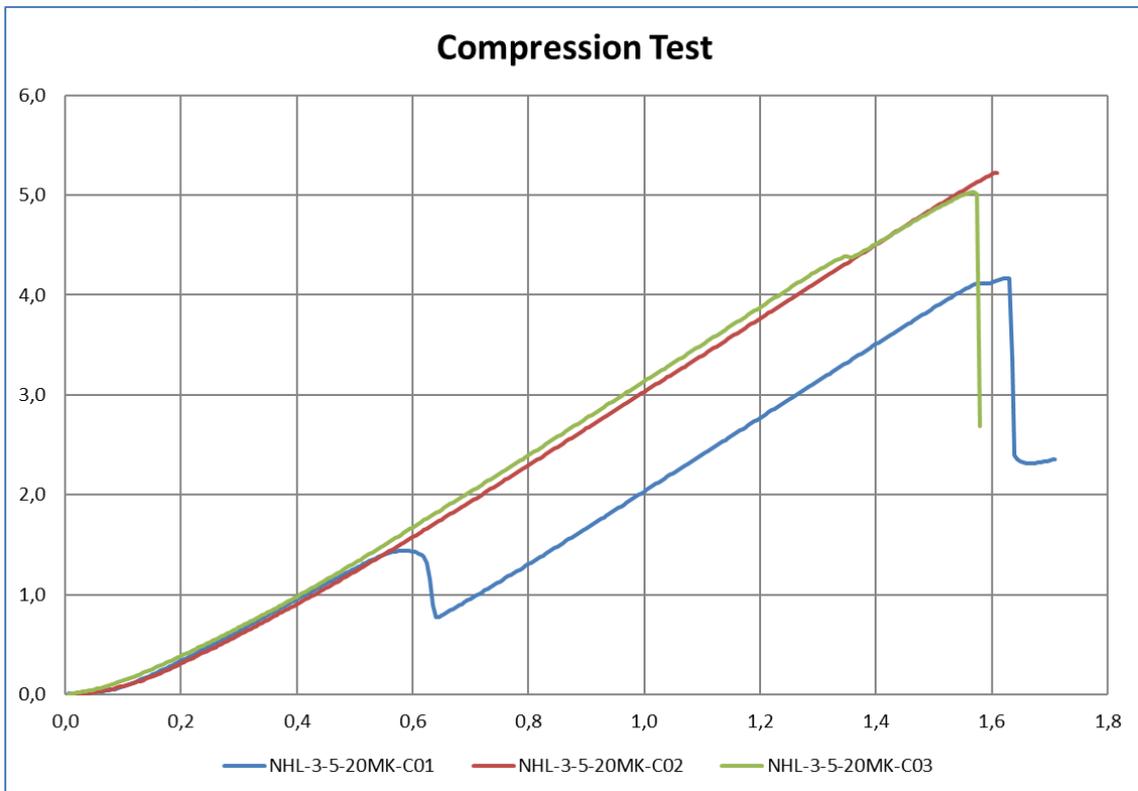
Grafica 37 - Métodos (1 y 2) Refuerzo 5 Capas



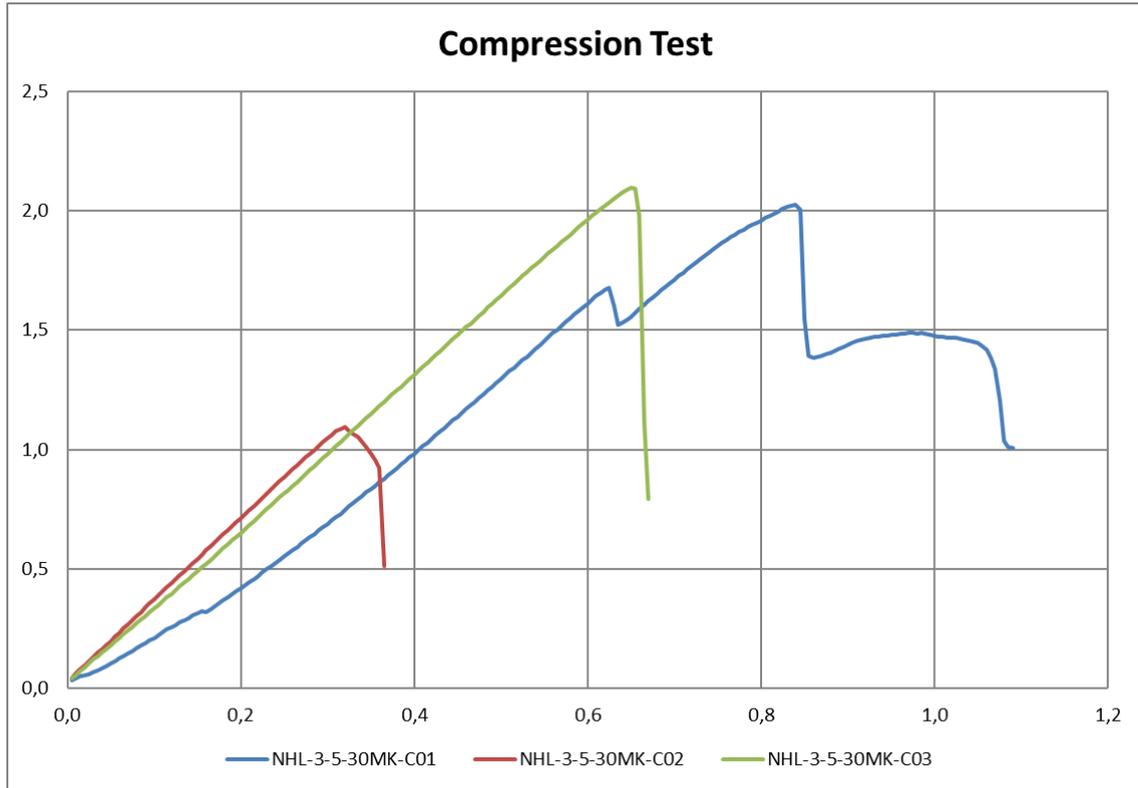
Grafica 38 – Matriz A Sin Refuerzo



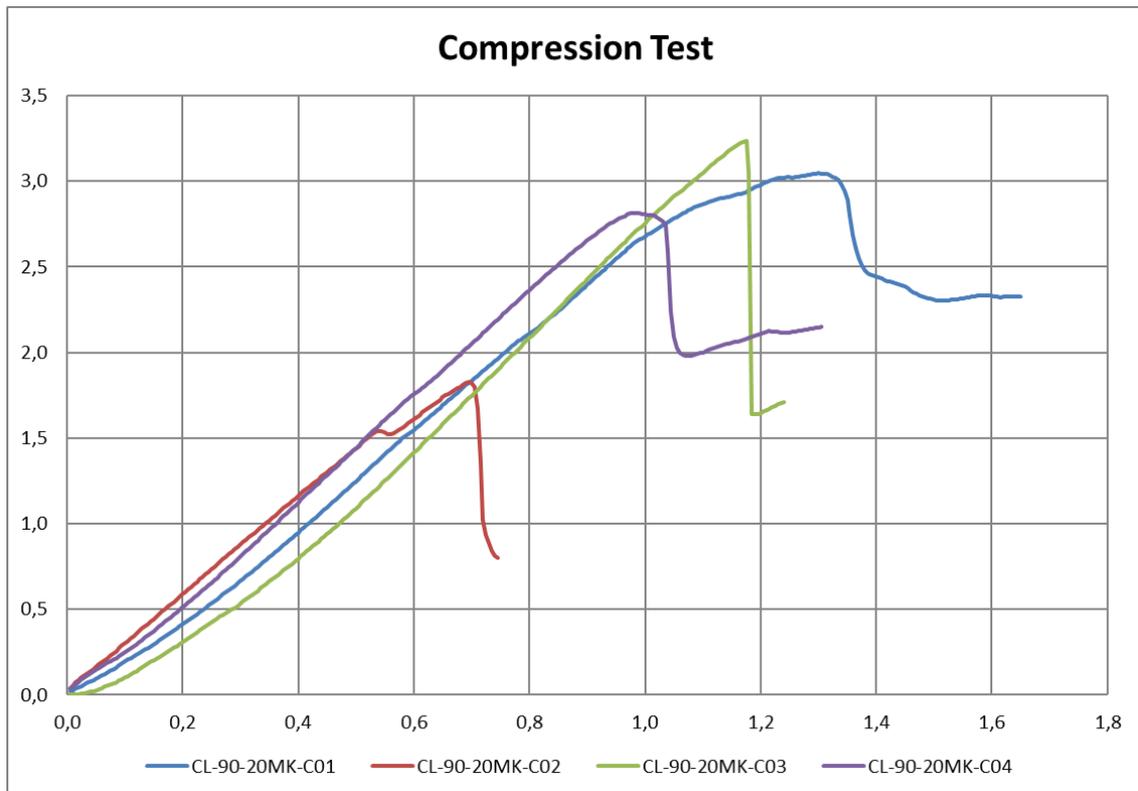
Grafica 39 - Matriz B Sin Refuerzo



Grafica 40 - Matriz C Sin Refuerzo



Grafica 41 - Matriz D Sin Refuerzo



NHL 3.5

Main Data and Application Recommendations

Product Specification: Pure and Natural Hydraulic Lime (NHL). Contains no additives.

Conforms to European Norms (EN 459)

Strength Factor: 3.5 (moderately hydraulic)

Residue @ 0.09 mm: 6.5%

Whiteness Index: 72

Available (free) lime after slaking Ca(OH)_2 20-25%

Packing: 55 lbs (25 kg) bags

Density (volumetric weight) 40.6 lbs/ft³ 650 gr/litre

Surface Cover: 274 sqft²/oz (cm² per gram: 9000)

Expansion: <3/64" (1mm)

Residue of quick lime after slaking: <1%

Shelf Life: 8-12 months kept sealed and dry

MORTARS Compressive Strength - PSI (N/mm ²)					Elasticity Moduli 10 ³ psi (Mpa)		
Mixing Ratio	EN459	1 : 2	1 : 2.5	1 : 3	1 : 2	1 : 2.5	1 : 3
7 Days		109 (0.75)	83 (0.57)	77 (0.53)			
28 Days	740 (5.1)	273 (1.88)	213 (1.47)	194 (1.34)	1306 (9010)	1305 (9000)	1170 (8070)
6 Months		1029 (7.1)	774 (5.34)	571 (3.94)	2213 (15260)	1958 (13501)	1805 (12450)
12 Months		1087 (7.5)	855 (5.90)	565 (3.90)	2216 (15280)	1975 (13620)	1907 (13150)
24 Months		1251 (8.63)	870 (6.00)	576 (3.97)	2535 (17480)	1999 (13785)	1982 (13670)
Consumption for 1 yard ³ (1m ³) of mortar							
lbs +/-10% (kg +/- 10%)		514 (305)	411 (244)	364 (216)			

Mixing: Can be mixed in cement mixers.

Application by Spray Gun: possible

Working Temperatures: not below 40°F or above 85°F. Make sure that high suction materials are thoroughly dampened before application. Avoid rapid drying due to high temperatures or strong winds by curing with a light water mist several times a day if necessary. Protect from frost, rain, direct sun and strong wind for a minimum of 72 hours.

SUITABLE FOR LATH WORK / LIME CONCRETE / INJECTION / GROUTING: see relevant sheets

Reworking: possible within 12 hours

MORTAR USES: MASONRY/POINTING/ CAPPING/ BEDDING/ ASHLAR

Binder: sand ratio: from 1:1.5 to 1:3 depending on the support/background conditions, the size of the joint and the fineness of the sand. Always use well graded sands (#6 (3 -4mm) down to #200 (75 microns)). See also "General Guidelines – Sand for NHL mortars"

PLASTERING

- | | | |
|-----------------|------------------------|--|
| A. Scratch Coat | 1/8"-3/16" (3-5 mm) | 1 volume of NHL 3.5 : 1.5 volumes sand - Cast on |
| B. Brown Coat | 5/8" - 3/4" (15-20 mm) | 1 volume of NHL 3.5 : 2 volumes sand* |
| C. Finish Coat | 3/16" - 3/8" (5-10 mm) | 1 volume of NHL 3.5 : 2.5 volumes sand |

With very fine sands possibly containing clays, the binder content may have to be reduced.

*At this ratio the consumption is approximately 2.05 lbs (0.35 kg) of NHL 3.5 per square yard (m² for each 1/8" (m) thickness

Please also refer to General Guidelines: NHL Plasters

The above details are given for information purposes only. Final dosages and application should be checked with our technicians. The Factory reserves the right to alter specifications.

SAFETY DATA SHEET (SDS)

Section 1. Identification

Product identifier	NHL 3.5
Other means of identification	St. Astier Natural Hydraulic Lime or CAS 85117-09-5
Recommended use and restrictions on use	Plasters and mortars
Initial supplier identifier	TransMineral USA, Inc. 201 Purrington Road, Petaluma, CA 94952, Telephone: (707) 769-0661
Emergency telephone number/restriction on use	USA - Chemtrec 1-800-424-9300

Section 2. Hazard identification

Classification of hazardous product (name of the category or subcategory of the hazard class)
Skin corrosion (Category 1C) Eye damage (Category 1) Carcinogenicity (Category 1) Specific target organ toxicity – repeated exposure (Category 1), Organs

Information elements (symbols, signal words, hazard statements and precautionary statements of the category/subcategory)



DANGER

When this product is humid or mixed with water – H314 Causes severe skin burns and eye damage.

H350 May cause cancer.

H372 Causes damage to organs (lungs) through prolonged or repeated exposure (inhalation).

P201 Obtain special instructions before use. P202 Do not handle until all safety precautions have been read and understood. P260 Do not breathe dusts or mists. P264 Wash hands/nails/face thoroughly after handling. P270 Do not eat, drink or smoke when using this product. P280 Wear protective gloves/ protective clothing/ eye protection/ face protection. P405 Store locked up. P501 Dispose of contents/container into safe container in accordance with local, regional or national regulations. P308+P313 IF exposed or concerned: Get medical attention. P314 Get medical attention if you feel unwell. P301+P330+P331 IF SWALLOWED: Rinse mouth. Do NOT induce vomiting. P303+P361+P353 IF ON SKIN (or hair): Take off immediately all contaminated clothing. Rinse skin with water. P363 Wash contaminated clothing before reuse. P305+P351+P338 IF IN EYES: Rinse cautiously with water for several minutes. Remove contact lenses, if present and easy to do. Continue rinsing. P304+P340 IF INHALED: Remove person to fresh air and keep comfortable for breathing. P310 Immediately call a doctor.

KEEP OUT OF REACH OF CHILDREN.

Other hazards known | None

Section 3. Composition/information on ingredients

Chemical name (common name/synonyms)	CAS number or other	Concentration (%)
Calcium Oxide	1305-78-8	< 1
Calcium Dihydroxide	1305-62-0	15-65
Calcium Carbonate	1317-65-3	10-40
Calcium Silicate	10034-77-2	10-45
Aluminum Oxide	1344-28-1	0.5-5
Silica, Crystalline (Quartz)	14808-60-7	7-13
May also contain Magnesium oxide, Potassium oxide, Sodium oxide, Ferric oxide, ...	---	< 1

Section 4. First-aid measures

Inhalation	IF INHALED: Remove person to fresh air and keep comfortable for breathing. Immediately call a doctor.
Ingestion	IF SWALLOWED: Immediately call a doctor. DO NOT INDUCE VOMITING. NEVER give anything by mouth if victim is rapidly losing consciousness, or is unconscious or convulsing. Rinse mouth thoroughly with water. Have victim drink two glasses of water. If vomiting occurs naturally, have victim lean forward to reduce risk of aspiration.
Skin contact	IF ON SKIN (or hair): Take off immediately all contaminated clothing. Rinse skin with water. (15-20 minutes).
Eye contact	IF IN EYES: Rinse cautiously with water for several minutes. (15-20 minutes). Remove contact lenses, if present and easy to do. Continue rinsing. Immediately call a doctor.

Most important symptoms and effects (acute or delayed)	NHL lime does not have acute toxicity in respect of oral, skin, or respiratory exposure. The substance is classified as an irritant for the skin and respiratory ways and presents a risk of serious eye damage. No deadly effects are suspected; the principal danger is restricted to localized effects. (effects pH)
---	---

Indication of immediate medical attention/special treatment	In all cases, call a doctor. Do not forget this document.
--	---

Section 5. Fire-fighting measures

Specific hazards of the hazardous product (hazardous combustion products)
This product is non-combustible. It does not emit any toxic substances in case of fire.
Suitable and unsuitable extinguishing media
In case of fire: Use carbon dioxide, chemical powder agent and appropriate foam to extinguish surrounding products.
Special protective equipment and precautions for fire-fighters

Avoid powders and dust dispersion. Use respiratory equipment. Use extinguishing methods taking in to account the local circumstances and the surrounding environment. If possible, avoid discharging the water used for extinguishing fire into the environment.

Section 6. Accidental release measures

Personal precautions, protective equipment and emergency procedures

For non emergency personnel

- Ensure adequate ventilation
- Avoid release of dust as much as possible.
- Keep away persons not wearing appropriate protective equipment.
- Avoid all contact with skin, eyes and clothing – wear appropriate protective equipment (see Section 8).
- Avoid inhaling dust – ensure adequate ventilation or wear respiration masks – wear appropriate protective clothing (see Section 8).

For emergency personnel

- Avoid release of dust as much as possible
- Ensure adequate ventilation.
- Keep away persons not wearing appropriate protective equipment
- Avoid all contact with skin, eyes and clothing–wear appropriate protective equipment (see Section 8).
- Avoid inhaling dust – ensure adequate ventilation or wear respiration masks – wear appropriate protective clothing (see Section 8).

Precautions for the protection of the environment

Contain spillages. Keep product dry if possible. Use covers to avoid creation of dust, if possible. Avoid large, uncontrolled spillages into waterways and drains (pH increase). All spillages in waterways must be notified to the Environmental Agency or other competent Authority.

Methods and materials for containment and cleaning up

- Label all receptacles where dust has been collected
- Impede or limit dust formation and dispersion
- Keep product dry if possible
- Collect product mechanically and in dry condition.
- Use a vacuum suction unit or shovel into bags.
- Harden the product before disposal as described in Section 13

Section 7. Handling and storage

Precautions for safe handling

Protective measures

- Avoid contact with skin, eyes and respiratory airways. Wear appropriate protective equipment (see Section 8 of this document).
 - Do not wear contact lenses when handling this product. It is also recommended to keep eye drops on hand.
- Keep formation or dispersion of dust to a minimum. Enclose dust sources and use extraction equipment (dust collection at handling point).

General advice on occupational hygiene

- Avoid inhalation, ingestion and contact with skin and eyes.
- Appropriate barrier creams can be used.
- Wash hands after each manipulation.
- General measures of hygiene at work are essential to ensure safe handling of the product. These include:
- Good personal practices, regular cleaning of the place of work, no alcohol drinking, eating or smoking at the place of work.
- Shower and change clothing at the end of work. Do not bring home any contaminated clothing. Separate work clothing from other clothing. Clean them separately.

Conditions for safe storage, including any incompatibilities

Safe storing conditions :

- Keep away from children reach.
- Store in a dry place.
- Bulk storage has to be in dedicated silos.

Incompatible materials:

- Strong acids and azotate composites.
- Organic matter.
- Avoid contact with air and moisture.
- Do not use aluminium for transport or storage if there is a risk of contact with water.

Section 8. Exposure controls/Personal protection

Control parameters (biological limit values or exposure limit values and source of those values)

Exposure limits: ACGIH – TLV-TWA & PEL-TWA – No value for the ingredients or the product itself.

CAS	PEL-TWA	STEL	ACGIH-TWA	STEL
1305-78-8	5 mg/m ³	---	2 mg/m ³	---
1305-62-0	5 mg/m ³	---	5 mg/m ³	---
1317-65-3/471-34-1	5 mg/m ³	---	---	---
10034-77-2	---	---	---	---
1344-28-1	5 mg/m ³	---	10 mg/m ³	---
14808-60-7	0.1 mg/m ³	---	0.025 mg/m ³	---

Appropriate engineering controls			
Exposure Controls:			
To control potential risks, avoid generating dust. Wear protective equipment. Eyes protection equipment (goggles or visors for example) are necessary unless contact with the eyes is avoided by the nature and type of application (closed process for example). In any case protection of the face, protective clothing and safety shoes must be worn. Refer to the Exposure Scenario annex available.			
Appropriate technical controls:			
If the product application generates dust, use enclosures, local ventilation or other technical methods to maintain dust limits below the maximum recommended.			
Individual protection measures and personal protective equipment:			
Eye and face protection			
Do not wear contact lenses.			
Wear tight fitting goggles with side shields or large vision full goggles. It is also recommended to carry eyewash.			
Skin protection:			
As NHLs are classified as irritant for the skin, dermal exposure has to be reduced to the minimum as much as possible.			
Chemically protective gloves (impervious), and other protective clothing to prevent prolonged or repeated skin contact, must be worn during all handling operations.			
Wear protective clothes offering total protection for the skin (long trousers, long sleeves, close fitting at openings) and shoes resistant to caustic products.			
Respiratory protection:			
Local ventilation is recommended to keep dust levels below indicated maximum values. Respiratory protection is required if the concentrations are higher than the exposure limits. Use a NIOSH approved respirators if the exposure limits are unknown.			
Thermal hazards: The product does not present any thermal hazards.			
Environmental exposure controls:			
Before discharging into the atmosphere, filter all discharges from ventilation and other extraction systems. Contain spillages. All spillages in watercourses must be notified to the Environment Agency or other competent Authority.			
For detailed information on risk management measures adequately controlling exposure of the environment refer to the Exposure Scenario annex available.			
Section 9. Physical and chemical properties			
Appearance, physical state/color	White to gray powder	Vapor pressure	Not applicable
Odor	Odorless	Vapor density	Not applicable
Odor threshold	Not applicable	Relative density	2.66
pH	~ 12 - 13	Solubility	1.5 g/l @20°C
Melting/freezing point	>450°C (840° F)	Partition coefficient - n-octanol/water	Not applicable
Initial boiling point/range	Not applicable	Auto-ignition temperature	Not applicable
Flash point	Not applicable	Decomposition temperature	Not applicable
Evaporation rate	Not applicable	Viscosity	Not applicable
Flammability (solids and gases)	Not applicable	VOC	Not applicable
Upper and lower flammability/explosive limits	Not applicable	Other	None known
Section 10. Stability and reactivity			
Reactivity			
In aqueous media Ca(OH) ₂ disassociates, forming Calcium cations and hydroxyl anions (when below the water solubility limit).			
Chemical stability			
The product is stable at ambient temperature and within the normal application and storing conditions.			
Possibility of hazardous reactions			
The substance produces an exothermic reaction in contact with acids. Heated above 580°C, the Calcium dihydroxide decomposes, producing Calcium Oxide (CaO) quick lime and water (H ₂ O): Ca(OH) ₂ → CaO + H ₂ O. The Calcium Oxide reacts with the water and generates heat. This could be a risk in the presence of flammable materials.			
Conditions to avoid (static discharge, shock or vibration)			
Minimize exposure to air and humidity to avoid degradation.			
Incompatible materials			
NHLs produce an exothermic reaction in contact with acids to form salts.			
In presence of humidity the NHLs react with aluminium and brass producing hydrogen $\text{Ca(OH)}_2 + 2\text{Al} + 6\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Ca[Al(OH)}_4\text{]}_2 + 3\text{H}_2$			
Hazardous decomposition products			
None to our knowledge. Complementary information: Calcium dihydroxide reacts with Carbon dioxide forming Calcium Carbonate which is a natural occurring material.			
Section 11. Toxicological information			
Information on the likely routes of exposure (inhalation, ingestion, skin and eye contact)			
When this product is humid or mixed with water – Causes severe skin burns and eye damage. May cause cancer. Causes damage to organs (lungs) through prolonged or repeated exposure (inhalation).			

Symptoms related to the physical, chemical and toxicological characteristics	
Skin irritation, redness, stinging, pain; Eye irritation, redness, tearing.	
Delayed and immediate effects (chronic effects from short-term and long-term exposure)	
<p>Respiratory or skin sensitisation - No data available. Based upon the known effects (pH modification) and on the basic human need for calcium in food, NHLs are considered as not producing a sensitisation effect to the skin. None of its components are known to have a sensitisation effect (ie: calcium carbonate calcium silicate and calcined clay mineral). The definition “sensitising” is not justified.</p> <p>Germ cells mutagenicity Bacterial reverse mutation tests (Ca(OH)₂ and CaO, Tests d'Ames, OCDE 471) : negative. Mammalian chromosome aberration test [Ca(OH)₂]: negative. By cross reference these results are applicable to NHLs. None of the components of NHL is known as genotoxic. Considering the pH effect, there is no mutagenicity. The definition “genotoxic” is not justifiable.</p> <p>Carcinogenicity IARC: Group 1: Agent is carcinogenic to humans – inhaled from occupational sources (also in NIOSH-C, MAK, NTP-RoC, Prop 65). NOTE: The European Regulation on Chemicals has published and imposed a set of regulations described in REACH (Registration, Evaluation, Authorization, and restriction of Chemical substances). Per NEPSI (European Network for Silica) recommendation, REACH formatted FDS (MSDS) does not list Crystalline Silica (Quartz) as a cancer risk in Saint-Astier NHL. The reason is that OEL (Occupational Exposure Limit) considers that exposure to a “maximum” breathable dust, at the time of mortar preparation, of less than 0.005mg of Crystalline Silica per m³ of air is NOT considered a health risk.</p> <p>Reproductive toxicity Calcium (administered as Ca-carbonate) is not toxic to reproduction (experimental studies on mice). The pH effect does not present a risk to reproduction. Clinical studies on humans and animals with different calcium salts have not shown any effect on reproduction or developmental. NHLs are not toxic for reproduction or development. The definition “toxic to reproduction” is not justified.</p> <p>Specific toxicity for target organs (STOT)-single exposure Calcium dihydroxide does not have specific toxicity for any exposure medium (dermal, oral, inhalation)</p> <p>Specific toxicity for target organs (STOT)-repeated exposure The toxicity of Calcium ingested is specified by the maximum tolerable limit (UL) for adults: UL = 2500 mg of Ca corresponding to 36 mg of Ca per kg of body weight for an adult weighing 70kg (Data from CSAH: Comité Scientifique en matière d'Alimentation Humaine). The toxicity of NHLs by skin absorption is not considered pertinent due to its insignificant absorption and the primary effect of local irritation (effect pH). The toxicity due to inhalation (localised effects, mucous irritation) due to the CaO and the Ca(OH)₂ is determined by SCOEL (Scientific Committee on exposure levels) as follows: DNEL = 1 mg / m³ breathable dust (see section 8.1) and VLEP (8h) = 1 mg / m³. The definition “toxic after repeated exposure” is not justified.</p> <p>Hazards due to ingestion Ingesting large quantity causes burns in the mouth, oesophagus, digestive track, nausea and vomit.</p>	
Numerical measures of toxicity (ATE; LD₅₀ & LC₅₀)	
CAS 1305-62-0 LD ₅₀ Oral - Rat – 7340 mg/kg; LC ₅₀ Inhalation - Rat - None 4 h; LD ₅₀ Dermal - Rabbit - None ATE not available in this document.	
Section 12. Ecological information	
Ecotoxicity (aquatic and terrestrial information)	
Toxicity	In water environment and in the soil, exposure to NHLs means exposure to Calcium and hydroxide ions.
Acute/chronic toxicity to fish	LC50 (96h) for fresh water fish : 50,6 mg/l (Calcium dihydroxide) LC50 (96h) for Salt water fish : 457 mg/l (Calcium dihydroxide)
Acute/chronic toxicity to aquatic invertebrates	EC50 (48h) for fresh water invertebrates : 49,1 mg/l (Calcium dihydroxide) EC50 (96h) for salt water invertebrates: 158 mg/l (Calcium dihydroxide)
Acute/chronic toxicity to aquatic plants	EC50 (72h) for fresh water plants : 184,57 mg/l (Calcium dihydroxide) NOEC (72h) for salt water plants : 48 mg/l (Calcium dihydroxide)
Toxicity to micro-organisms such as bacteria	In high concentration because of increases in temperature and pH, calcium oxide is used for the disinfection of sewage sludges
Chronic toxicity to aquatic organisms	NOEC (14d) for seawater invertebrates : 32 mg/l (Calcium dihydroxide)
Toxicity to soil dwelling organisms	EC10/LC10 or NOEC for soil macro organisms : 2000 mg/kg of dry soil (Calcium dihydroxide) EC10/LC10 or NOEC for soil micro organisms : 12000 mg/kg of dry soil (Calcium dihydroxide)
Toxicity to terrestrial flora	NOEC (21d) for terrestrial plants : 1080 mg/kg (Calcium dihydroxide)
General effects	The product modifies the pH Although this product is useful for the modification of the pH of the water (acidity reduction), a dosage of over 1g/l can be harmful to aquatic life A pH value > 12 will decrease rapidly due to dilution and carbonation
Persistence and degradability	Not relevant (inorganic substance)
Bioaccumulative potential	Not relevant (inorganic substance)
Mobility in soil	Calcium dihydroxide reacts with moisture and/or Carbon dioxide forming Calcium Carbonate and water $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \longrightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ which is sparingly soluble presenting a low mobility in most soils
Results of PBT and vPBvB evaluations	Not relevant (inorganic substance)
Other adverse effects	Not identified

Section 13. Disposal considerations	
Information on safe handling for disposal/methods of disposal/contaminated packaging	
Dispose of contents/container into safe container in accordance with local, regional or national regulations.	
Section 14. Transport information	
UN number; Proper shipping name; Class(es); Packing group (PG) of the TDG/49 CFR Regulations	
NOT REGULATED	
UN number; Proper shipping name; Class(es); Packing group (PG) of the IMDG (maritime)	
NOT REGULATED	
UN number; Proper shipping name; Class(es); Packing group (PG) of the IATA (air)	
NOT REGULATED	
Special precautions (transport/conveyance)	None
Environmental hazards (IMDG or other)	None
Bulk transport (usually more than 450 L in capacity)	Possible
Section 15. Regulatory information	
Safety/health Canadian regulations specifics	Refer to Section 2 for the appropriate classification. This product has been classified in accordance with the hazard criteria of the Hazardous Products Regulations (HPR).
Environmental Canadian regulations specifics	Refer to Section 3 for ingredient(s) of the DSL
Safety/health/environmental outside regulations specifics	
United States OSHA information: This product is regulated according to OSHA (29 CFR).	
United States EPA (Environmental Protection Agency) information: 40 CFR Refer to the ingredients listed in Section 3 & Sections 12; 13 & 14.	
United States TCSA information: Refer to the ingredients listed in Section 3.	
National Fire Protection Association (NFPA):	
HEALTH: 3 FLAMMABILITY: 0 INSTABILITY: 0 SPECIAL HAZARDS: Refer to Section 2 & 3.	
HAZARD SCALE: 0 = Minimal 1 = Slight 2 = Moderate 3 = Serious 4 = Severe	
California Proposition 65: This product contains Silica, Crystalline (Quartz) that is known to the State of California to cause cancer or other reproductive harm.	
Section 16. Other information	
Date of the latest revision of the safety data sheet	February 16, 2016, version 1
References	Safety Data Sheets from manufacturer/supplier & from Canadian Centre for Occupational Health and Safety, CCOHS.
Abbreviations	
ACGIH	American Conference of Governmental Industrial Hygienists
ATE	Acute toxicity estimate
CAS	Chemical Abstract Service
CFR	Code of Federal Regulations
DSL	Domestic Substance List
IARC	International Agency for Research on Cancer
IATA	International Air Transport Association
IMDG	International Maritime Dangerous Goods Code
LC	Lethal concentration
LD	Lethal Dosage
NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health
NTP	National Toxicology Program (U.S.A.)
OSHA	Occupational Safety and Health Administration (U.S.A.)
PEL	Permissible Exposure Limit
STEL	Short-term Exposure Limit
TDG	Transport of dangerous goods in Canada
TLV	Threshold Limit Value
TSCA	Toxic Substances Control Act
TWA	Time Weighted Average
WHMIS	Workplace Hazardous Materials Information System
To the best of our knowledge, the information contained herein is accurate. However, neither the above named supplier nor any of its subsidiaries assumes any liability whatsoever for the accuracy or completeness of the information contained herein. Final determination of suitability of any material is the sole responsibility of the user. All materials may present unknown hazards and should be used with caution. Although certain hazards are described herein, we cannot guarantee that these are the only hazards that exist.	

1. DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

El **metacaolín Peser®** es un producto con elevadas propiedades puzolánicas obtenido mediante activación térmica de caolines (calcinación a temperatura controlada en horno rotativo) y posterior micronización o molienda ultrafina del producto obtenido.

El **metacaolín Peser®** es un silicato de aluminio deshidroxilado, de composición general $2SiO_2 \cdot Al_2O_3$, de estructura amorfa, no cristalina, constituido por partículas laminares de elevada finura.

2. CAMPO DE APLICACIÓN

El **metacaolín Peser®** se utiliza principalmente como **aditivo puzolánico de morteros y hormigones basados en cementos Portland o cal**.

El **metacaolín Peser®** se combina químicamente con el hidróxido de calcio del proceso de hidratación del cemento para formar silicatos, silicoaluminatos y aluminatos de calcio hidratados adicionales, los cuales se depositan en los espacios existentes en el cemento, originando la densificación de la matriz (menor porosidad) y contribuyendo al incremento de la resistencia, la reducción de la permeabilidad y de la reactividad álcali-sílice, al control de la eflorescencia, al aumento de resistencia al ataque químico y al ciclo hielo/deshielo, mejorando así la durabilidad del hormigón.

El color blanco del **metacaolín Peser®** fabricado por ARCIRESA posibilita su empleo en infraestructuras y aplicaciones arquitectónicas especiales e incluso en la producción de cemento blanco adicionado.

Dosificación habitual: sustitución del 5 – 15 % del peso total de cemento por metacaolín.

3. PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS Y GRANULOMÉTRICAS

Propiedades físicas*

Aspecto/Color.....	Polvo blanco
Pérdida por calcinación.....	< 1,50
Puzolanicidad (Ensayo Chapelle).....	988 g Ca(OH) ₂ /g
Superficie específica (Blaine).....	10.971 cm ² /g
Demanda de agua.....	106,2 %
Índice actividad resistente 28 días	111,6 %
Densidad aparente:	
– Aireada.....	600 kg/m ³
– Compactada.....	800 kg/m ³
Peso específico.....	2,54 g/cm ³



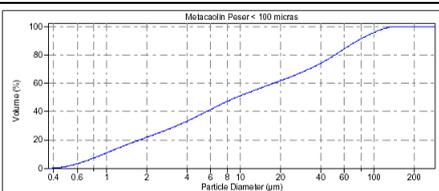
Análisis químico

% Al ₂ O ₃	40,24
% SiO ₂	54,61
% Fe ₂ O ₃	0,25
% TiO ₂	1,08
% CaO.....	< 0,10
% MgO.....	< 0,10
% Na ₂ O.....	0,02
% K ₂ O.....	1,44

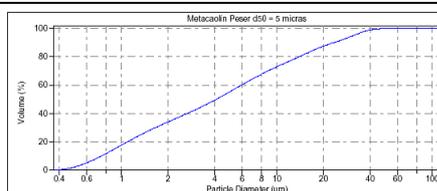
* Valores correspondientes al material con d₅₀ = 5 micras.

Distribuciones granulométricas

Impalpable, 100% de material < 100 micras



Ultrafino, diámetro medio partícula d₅₀ = 5 µm



4. PRESENTACIÓN Y SUMINISTRO

El **metacaolín Peser®** de ARCIRESA se suministra en los siguientes formatos:

- Big – bags de 500 kg y de 1.000 kg.
- Sacos de papel, de 20 kg, en pallets de 5 sacos en 10 alturas con un peso de 1.000 kg.

Arcillas Refractarias, S. A. (ARCIRESA)

Barrio Castiello, s/n

33690 Lugo de Llanera (Asturias) – España

☎ 985770129 📠 985772327

✉ arciresaid@arciresa.es

www.arciresa.es

Revisión: 4

Fecha de la revisión: 12/01/2012