

Beatriz Hortigón Fuentes
José Antonio Santiago Espinal
Fernando Fernández Ancio
Esperanza Rodríguez Mayorga

GUÍA PARA FABRICACIÓN Y ENSAYO DE PROBETAS DE LECHADA DE SPINOR A12

 Cátedra
VIENDA

 EDITORIAL
UNIVERSIDAD DE SEVILLA

colección **INFORMES** 2

GUÍA PARA FABRICACIÓN Y ENSAYO DE PROBETAS DE LECHADA DE SPINOR A12

Beatriz Hortigón Fuentes
José Antonio Santiago Espinal
Fernando Fernández Ancio
Esperanza Rodríguez Mayorga

GUÍA PARA FABRICACIÓN Y ENSAYO DE PROBETAS DE LECHADA DE SPINOR A12



M Cátedra
VIENDA

eus EDITORIAL
UNIVERSIDAD DE SEVILLA

Sevilla 2024

Colección: Informes

Núm.: 2

COMITÉ EDITORIAL DE LA
EDITORIAL UNIVERSIDAD DE SEVILLA:

Araceli López Serena
(Directora)

Elena Leal Abad
(Subdirectora)

Concepción Barrero Rodríguez

Rafael Fernández Chacón

María Gracia García Martín

María del Pópulo Pablo-Romero Gil-Delgado

Manuel Padilla Cruz

Marta Palenque

María Eugenia Petit-Breuilh Sepúlveda

Marina Ramos Serrano

José-Leonardo Ruiz Sánchez

Antonio Tejedor Cabrera

Reservados todos los derechos. Ni la totalidad ni parte de este libro puede reproducirse o transmitirse por ningún procedimiento electrónico o mecánico, incluyendo fotocopia, grabación magnética o cualquier almacenamiento de información y sistema de recuperación, sin permiso escrito de la Editorial Universidad de Sevilla.

Financiación:

De la investigación: US-1381350 Y US.20.08.

De la publicación: Cátedra Vivienda – Emvisesa.

© Editorial Universidad de Sevilla 2024

C/ Porvenir, 27 - 41013 Sevilla.

Tfnos.: 954 487 447; 954 487 451; Fax: 954 487 443

Correo electrónico: info-eus@us.es

Web: <https://editorial.us.es>

© Beatriz Hortigón Fuentes, José Antonio Santiago Espinal,
Fernando Fernández Ancio, Esperanza Rodríguez Mayorga 2024

DOI http://dx.doi.org/10.12795/informes_2

Diseño, maquetación y edición electrónica:
referencias.maquetacion@gmail.com

Índice

Presentación.....	11
1. Introducción	13
1.1. Objetivos.....	15
1.2. Glosario.....	16
1.2.1. Double Punch Test.....	16
1.2.2. Ensayo <i>pull out</i>	16
1.2.3. Galga extensiométrica.....	16
1.2.4. Mezclador de alta turbulencia.....	17
1.2.5. Mordaza.....	17
1.2.6. Palpador.....	17
1.2.7. Plato de carga.....	17
1.2.8. Rodillo de carga	17
1.2.9. Roseta de galgas extensiométricas	17
2. Fabricación de lechadas.....	18
2.1. Materiales.....	18
2.2. Mezcla.....	19
3. Determinación de las propiedades mecánicas	21
3.1. Resistencia a compresión, módulo de Young y coeficiente de Poisson	21
3.1.1. Adaptación del procedimiento para las lechadas de inyección en fábricas.....	22
3.1.2. Preparación del ensayo.....	22
3.1.2.1. <i>Moldes o encofrados</i>	22
3.1.2.2. <i>Vertido de la lechada</i>	26
3.1.2.3. <i>Curado</i>	26
3.1.2.4. <i>Corte y pesado de las probetas</i>	30

3.1.2.5. Colocación de galgas o rosetas extensiométricas	32
3.1.2.6. Equipo y software de control	36
3.1.3. Ejecución del ensayo	41
3.1.4. Datos de salida, tratamiento de los mismos y resultados.....	45
3.2. Resistencia a compresión según el ensayo DPT.....	49
3.2.1. Adaptación del procedimiento para las lechadas de inyección en fábricas.....	50
3.2.2. Preparación del ensayo.....	50
3.2.2.1. Moldes o encofrados.....	50
3.2.2.2. Preparación y vertido de la lechada.....	51
3.2.2.3. Curado	51
3.2.2.4. Corte y pesado de las probetas	51
3.2.2.5. Equipo y software de control.....	51
3.2.3. Ejecución del ensayo	52
3.2.4. Datos de salida, tratamiento de los mismos y resultados.....	55
3.3. Resistencia a flexión.....	56
3.3.1. Adaptación del procedimiento para las lechadas de inyección en fábricas.....	57
3.3.2. Preparación del ensayo.....	57
3.3.2.1. Moldes o encofrados.....	57
3.3.2.2. Preparación y vertido de la lechada.....	57
3.3.2.3. Curado	57
3.3.2.4. Corte y pesado de las probetas	57
3.3.2.5. Equipo y software de control.....	58
3.3.3. Ejecución del ensayo	59
3.3.4. Datos de salida, tratamiento de los mismos y resultados.....	60
4. Determinación del comportamiento a adherencia entre barra corrugada y lechada	63
4.1. Adaptación del procedimiento para las lechadas de inyección en fábricas	63

4.2. Preparación del ensayo	64
4.2.1. Moldes o encofrados	64
4.2.2. Preparación y vertido de la lechada.....	69
4.2.3. Curado	71
4.2.4. Corte y pesado de las probetas.....	72
4.2.5. Equipo y <i>software</i> de control.....	73
4.3. Ejecución del ensayo	79
4.4. Resultados	87
5. Determinación de las propiedades físicas	91
5.1. Fluidez y ensayo granulométrico	91
5.1.1. Adaptación del procedimiento para las lechadas de inyección en fábricas.....	91
5.1.2. Equipo	92
5.1.3. Ejecución del ensayo	93
5.2. Tiempos de fraguado	95
5.2.1. Adaptación del procedimiento para las lechadas de inyección en fábricas.....	95
5.2.2. Equipo	95
5.2.3. Ejecución del ensayo	96
5.3. Capilaridad.....	101
5.3.1. Adaptación del procedimiento para las lechadas de inyección en fábricas.....	102
5.3.2. Preparación del ensayo.....	102
5.3.2.1. <i>Moldes</i>	102
5.3.2.2. <i>Preparación y vertido de la lechada</i>	103
5.3.2.3. <i>Curado</i>	104
5.3.2.4. <i>Secado</i>	105
5.3.3. Ejecución del ensayo	108
5.3.4. Resultados	111
Referencias bibliográficas.....	113
Anexo A. Obtención del diagrama Tensión-Deformación real en el ensayo a compresión.....	115
A.1. Ley de Comportamiento Tensión-Deformación real	115

Presentación

Esta *Guía para fabricación y ensayo de probetas de lechada de Spinor A12* ha sido desarrollada gracias al trabajo conjunto de investigadores de los departamentos de Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras y Estructuras de Edificación e Ingeniería del Terreno, bajo la dirección de la Dra. Beatriz Hortigón Fuentes. Esencialmente, la presente *Guía* recoge las conclusiones de los proyectos de investigación de referencias US-1381350, financiado por la Consejería de Economía, Conocimiento, Empresas y Universidad de la Junta de Andalucía, dentro del programa FEDER Andalucía 2014-2020, y US.20-08, financiado por la Consejería de Fomento, Infraestructuras y Ordenación del Territorio de la misma comunidad autónoma, dentro de la convocatoria 2020 para ayudas a grupos de investigación en las materias de vivienda, rehabilitación y arquitectura.

Este documento describe detalladamente el proceso que debe seguirse para elaborar y ensayar probetas de lechada a base de cementos ultrafinos, concretamente el microcemento

Spinor A12. La escasez de normativa al respecto conduce a la extensión de normas relativas a ensayos de hormigones o morteros al caso de las lechadas. Aun siendo el Spinor A12 un conglomerante hidráulico, las diferencias inherentes debidas a la ausencia de áridos en la mezcla dan lugar a numerosas dificultades en la aplicación de dicha normativa. Así pues, resulta especialmente interesante la publicación de experiencias como esta, que facilitan a otros grupos el trabajo con lechadas, lo que permite el avance en el conocimiento sobre las mismas.

Sevilla, julio de 2023

José María Gallardo Fuentes

Catedrático de Universidad (Universidad de Sevilla)

1

Introducción

Las fábricas consisten en un sistema constructivo tradicional compuesto por piezas unitarias, normalmente sillares, ladrillos o adobe, unidas entre sí con mortero. Actualmente, las fábricas han quedado relegadas prácticamente a elementos de cerramientos o particiones, habiéndose reducido notablemente su uso como elementos estructurales. Los muros de carga de obra de fábrica aparecen actualmente solo en edificios de escasa entidad, tales como viviendas unifamiliares, mientras que los pilares y pilastras de obra de fábrica son prácticamente inexistentes. Por el contrario, las estructuras de obra de fábrica constituyen prácticamente el cien por cien de los sistemas estructurales de más de cien años y un elevado porcentaje de los sistemas estructurales de más de cincuenta años. Así pues, son elementos que deben ser evaluados y posiblemente necesiten de algún tipo de refuerzo estructural en la actualidad o en un futuro más o menos próximo.

Dentro de los métodos de consolidación y refuerzo de obras de fábrica más utilizados, se encuentran las inyecciones. Las inyecciones de lechadas constituyen un método muy

apropiado para la consolidación de fábricas, debido al elevado volumen de huecos que suele aparecer en el interior de las mismas; por un lado, los huecos presentes de manera natural en las fábricas, tales como el sistema poroso de la piedra o los huecos de la hoja interior en el caso de fábricas de varias hojas, si es el caso; por otro lado, los huecos que aparecen por el efecto de la degradación de las fábricas asociada al paso del tiempo, como puedan ser las fisuras en las piezas o los huecos remanentes de la pérdida total o parcial del mortero de las juntas.

El éxito de la inyección recae no solo en la correcta ejecución de la misma, sino también en la correcta elección de la lechada a inyectar. Tradicionalmente, las lechadas escogidas han sido de cal debido, principalmente, a la compatibilidad absoluta que se encuentra entre este tipo de lechadas y las fábricas históricas, objeto habitual de la técnica. La vinculación entre el valor de presión aplicada durante la inyección, la resistencia a compresión de la lechada y la resistencia final del elemento inyectado está demostrada. La cal, habitualmente conglomerante de baja resistencia, en ocasiones debe ser suplementada con determinadas adiciones para mejorar sus propiedades mecánicas o, directamente, puede ser sustituida por otros conglomerantes que presenten valores superiores en cuanto a resistencia y rigidez se refiere. En este marco aparecen las lechadas a base de conglomerantes hidráulicos ultrafinos.

Los conglomerantes hidráulicos ultrafinos tienen principalmente su origen en las inyecciones del terreno. Están compuestos principalmente por una mezcla de Clinker y puzolanas molida hasta el tamaño de micras. Recientemente estas lechadas han dado el salto a su uso como lechadas de inyección de fábricas, dando excelentes resultados. Tan reciente

es el salto que aún no hay demasiados trabajos de investigación sobre ellas, e incluso, la aplicación de la normativa para su ensayo resulta en ocasiones ambigua, dudosa o inexistente. La *Guía* que aquí se introduce consiste en una descripción de los ensayos necesarios para la caracterización, tanto física como mecánica, de las lechadas elaboradas a base de un conglomerante; en concreto, el Spinor A12, comercializado en España por la empresa francesa Holcim. Esta guía recoge las conclusiones de los proyectos de investigación “US.20-08 Caracterización de lechadas a base de conglomerantes hidráulicos ultrafinos para uso en reparación de obras de fábrica” y “US-1381350 Modelización FEM de lechadas a base de conglomerantes hidráulicos ultrafinos mediante el modelo de microplanos”, cuyo principal objetivo era acercar el uso de lechadas de Spinor A12 al personal tanto técnico como investigador en relación con la consolidación de fábricas.

1.1. Objetivos

El principal objetivo de esta *Guía* es facilitar el uso de las lechadas a base de Spinor A12 como material de inyección de fábricas a los colectivos encargados de tal fin: investigadores y técnicos. Para ello, la *Guía* describe detalladamente el proceso de elaboración y ensayo de probetas de lechada. Los ensayos que esta *Guía* abarca son los ensayos de capilaridad, fluidez, granulometría, inicio y fin de fraguado y los de flexión, compresión y *pullout*.

En referencia a estos ensayos, se ofrecen los distintos puntos de vista de las diversas normativas vigentes en los distintos países, así como las extrapolaciones que ha sido preciso realizar para aplicar algunas de las mismas no estrictamente

extrapolables al ensayo de lechadas. Igualmente, se describen las soluciones adoptadas para resolver los problemas que han surgido al elaborar las probetas o realizar los distintos ensayos, bien derivados de la aplicación de normativas no pensadas para la caracterización de lechadas o bien, derivados de la propia ejecución de los mismos, como, por ejemplo, de la colocación de galgas extensiométricas o del contacto entre el plato de carga y la probeta.

1.2. Glosario

En esta *Guía* se usa, entre otra, la siguiente terminología:

1.2.1. Double Punch Test

Ensayo destinado a obtener la resistencia a compresión de una probeta de mortero o lechada de pequeño espesor mediante la aplicación de una carga concentrada en el centro de las bases superior e inferior de dicha probeta.

16

1.2.2. Ensayo *pull out*

Ensayo que mide la fuerza necesaria para desplazar una barra de un testigo de lechada, mortero u hormigón en el que se encuentra embebida.

1.2.3 Galga extensiométrica

Sensor empleado para medir desplazamientos en un determinado material durante la aplicación de una carga determinada.

1.2.4. Mezclador de alta turbulencia

Mezclador-batidor empleado para la fabricación de lechadas donde la velocidad de giro de las aspas es de 1500 rpm o superior.

1.2.5. Mordaza

Dispositivo usado para aplicar una carga a una barra en el sentido longitudinal de la misma.

1.2.6. Palpador

Dispositivo electrónico de alta precisión para medición de desplazamientos lineales.

1.2.7. Plato de carga

Superficie de la máquina de ensayos con la que se aplica la carga a la probeta en el ensayo de compresión.

17

1.2.8. Rodillo de carga

Superficie cilíndrica con la que se aplica la carga a la probeta en el ensayo de flexión.

1.2.9. Roseta de galgas extensiométricas

Conjunto de sensores que miden la deformación de un determinado material en distintos ejes durante la aplicación de una carga determinada.



colección **INFORMES**

Esta guía pretende ser de ayuda tanto a los técnicos como al personal de laboratorio que trabaja con lechadas a base de conglomerantes hidráulicos ultrafinos, también conocidas como lechadas de microcemento. A su vez, pretende dar a conocer y facilitar el uso de este material, aún bastante desconocido, en el ámbito de la reparación y consolidación de fábricas.

Las lechadas, debido a la carencia de áridos, presentan un comportamiento muy diferente al de los morteros y hormigones. Este diferente comportamiento hace que, en ocasiones, la adaptación de la normativa existente sobre morteros y hormigones sea de difícil aplicación. Este hecho, unido a la escasez, que no inexistencia, de normativa específica para lechadas, dificulta considerablemente la obtención de las propiedades físicas y mecánicas de las lechadas. En esta guía se describen detalladamente los pasos que se han seguido para realizar los ensayos de capilaridad, tiempos de fraguado, fluidez, compresión, flexión, Double-Puch Test, arrancamiento o *pull out* y de ultrasonidos, así como las particularidades acerca de la preparación de las lechadas para cada uno de estos ensayos y de la fabricación de los moldes.

El trabajo aquí recogido se ha realizado gracias a los proyectos de investigación "Caracterización de lechadas a base de conglomerantes hidráulicos ultrafinos para su uso en reparación de obras de fábrica" (US-1381350), financiado por la Junta de Andalucía (Consejería de Fomento, Articulación del Territorio y Vivienda) y "Modelización FEM de lechadas a base de conglomerantes hidráulicos ultrafinos mediante el modelo de microplanos" (US-1381350), financiado por la Junta de Andalucía (Consejería de Economía, Conocimiento, Empresas y Universidad). La publicación ha podido llevarse a cabo gracias a la colaboración de la Cátedra Vivienda – Emvisesa.