



Universidad de Alicante

Investigación y Propuestas Innovadoras de Redes UA para la Mejora Docente

Coordinadores

José Daniel Álvarez Teruel
María Teresa Tortosa Ybáñez
Neus Pellín Buades

© **Del texto: los autores**

© **De esta edición:**

Universidad de Alicante
Vicerrectorado de Estudios, Formación y Calidad
Instituto de Ciencias de la Educación (ICE)

ISBN: 978-84-617-3914-1

Revisión y maquetación: Neus Pellín Buades

Prácticas de laboratorio para asignaturas relacionadas con la microestructura, durabilidad y corrosión en materiales base-cemento

J. M. Ortega Álvarez; M. P. López García; I. Sánchez Martín; G. de Vera Almenar;
M. Á. Climent Llorca

*Departamento de Ingeniería Civil. Escuela Politécnica Superior
Universidad de Alicante*

RESUMEN (ABSTRACT)

La llegada del Espacio Europeo de Educación Superior ha traído consigo una importante transformación de las titulaciones que se impartían en la universidad española. Entre estos cambios, destaca la aparición de los másteres universitarios que, entre otros, tienen como objetivo mejorar el grado de especialización de los egresados. Entre ellos, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Alicante, se puso en marcha el Máster en Ingeniería de los Materiales, Agua y Terreno. Dentro de este máster hay varias asignaturas que tratan aspectos relacionados con la microestructura, durabilidad y estudio de la corrosión en materiales base cemento, que cuentan con una serie de horas dedicadas a prácticas de laboratorio. En vista de ello, en esta red se ha elaborado una propuesta de prácticas de laboratorio, coordinadas entre esas asignaturas, estableciendo los contenidos cuyo aprendizaje puede ser más efectivo a través de las prácticas de laboratorio y optimizando así el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Palabras clave: Durabilidad, Prácticas de laboratorio, Corrosión, Microestructura, Materiales base-cemento.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Problema

La llegada del Espacio Europeo de Educación Superior, de acuerdo a la Declaración de Bolonia, ha traído consigo una importante transformación de las titulaciones que se impartían en la universidad española. Entre estos cambios, destaca la aparición de los másteres universitarios que tiene como objetivo mejorar el grado de especialización de los egresados. Entre ellos, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Alicante, se puso en marcha el Máster en Ingeniería de los Materiales, Agua y Terreno.

Dentro de este máster hay varias asignaturas que tratan aspectos relacionados con la microestructura, durabilidad y estudio de la corrosión en materiales base cemento, que cuentan con una serie de horas dedicadas a prácticas de laboratorio. En vista de ello, resultaría de interés plantear una propuesta de prácticas de laboratorio coordinadas entre todas estas asignaturas, y que permitan mejorar el aprendizaje de las diferentes técnicas y ensayos por parte de los alumnos.

1.2. Revisión de la literatura.

Según se ha indicado con anterioridad, la declaración de Bolonia es el marco en el que se deben encontrar las titulaciones en las universidades europeas. Si realizamos una revisión de la bibliografía más específica deja claro que la adaptación de los estudios tradicionales al EEES se ha hecho sin dar directrices, de modo que cada centro, en sus comisiones ha tenido que decidir el modelo utilizado (Bermejo, 2009). Rodríguez Vellando (2009) también realiza una revisión muy interesante de cómo se plantea resolver la adaptación de los estudios previos de Ingeniería Civil en nuestro país haciendo una comparativa con Europa. Existe todo un número de la revista del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos (Ingeniería y territorio, número 87, 2009) dedicada a la enseñanza de la ingeniería con varios artículos de autores reconocidos en el ámbito de la Ingeniería Civil.

Con respecto a las metodologías a emplear, algunos trabajos previos han confirmado la bondad de las metodologías interactivas, donde las prácticas de laboratorio juegan un papel importante. Estas metodologías se basan en que el alumno realice parte del trabajo, mientras el profesor guía y dirige el aprendizaje realizado. Existe bibliografía abundante sobre la importancia de la interacción en el aula, como los como los trabajos publicados por Northcott (2001) y los libros publicados por Morell

(2004, 2007). Existen trabajos que recogen la aplicación de estas metodologías a la enseñanza de la ingeniería (Cabeza, 2012), así como la importancia del trabajo tutorial con los alumnos en ciertas actividades (Sánchez, 2011). Del mismo modo, sobre estos temas también hay alguna contribución en congresos internacionales con participación del coordinador de la presente red (Ortega, 2013) (Varona, 2013).

1.3 Propósito de la red.

De acuerdo con lo expuesto anteriormente, el propósito que se plantea para la red es elaborar una propuesta de prácticas de laboratorio coordinadas entre las asignaturas que tratan aspectos relacionados con la microestructura, durabilidad y estudio de la corrosión en materiales base cemento

2. DISEÑO DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO PARA LAS ASIGNATURAS DEL MÁSTER EN INGENIERÍA DE MATERIALES RELACIONADAS CON LA DURABILIDAD Y CORROSIÓN EN MATERIALES BASE CEMENTO

2.1. Objetivos

Tal como se ha expuesto con anterioridad, en el Máster en Ingeniería de los Materiales, Agua y Terreno impartido en la Universidad de Alicante existen varias asignaturas cuyo contenido está relacionado con el estudio de la microestructura, durabilidad y corrosión en materiales de construcción, y más específicamente en materiales base cemento. Parte de la carga docente de cada una ellas está dedicada a la realización de prácticas de laboratorio. Por tanto, el objetivo de esta red es diseñar y coordinar las prácticas de laboratorio de las asignaturas incluidas en ella, optimizando así el proceso de enseñanza-aprendizaje.

2.2. Método y proceso de investigación.

Las asignaturas objeto de esta investigación se imparten en el Máster Universitario en Ingeniería de los Materiales, Agua y Terreno en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Alicante, y son las siguientes:

- “Durabilidad de las construcciones de hormigón”.
- “Corrosión metálica en la construcción”.
- “Técnicas de caracterización microestructural de materiales de construcción”.

- “Procedimientos experimentales para el estudio de la corrosión”.

Seguidamente se va a realizar una breve descripción de los contenidos y aspectos más relevantes de cada una de esas cuatro asignaturas.

En primer lugar, la asignatura “**Durabilidad de las construcciones de hormigón**” es de carácter obligatorio y su duración es de 3 créditos ECTS. Se recuerda que cada crédito ECTS corresponde a 25 horas de trabajo del estudiante, de las cuales el cuarenta por ciento son presenciales y el resto son de trabajo y estudio personal o en grupo. Así pues, la docencia presencial es de 30 horas por estudiante, de las cuales 17,5 h son en clase magistral de teoría, 6 h son en clase de prácticas de problemas y 6,5 h corresponden a prácticas de laboratorio. Las clases magistrales de teoría se apoyan en una colección de transparencias elaborada por los profesores de la asignatura, mientras que las prácticas de problemas se basan en la resolución de supuestos prácticos. Además, también tanto las clases de teoría como las de problemas se apoyan en la lectura y comentario por parte de los alumnos de artículos y textos relacionados con los temas tratados en la asignatura.

Los objetivos planteados en la asignatura “Durabilidad de las construcciones de hormigón” son los siguientes:

- Interiorización por parte del alumno de que los criterios relativos a la optimización de la durabilidad deben acompañar a los relativos a la resistencia mecánica en el proyecto y ejecución de las estructuras de hormigón.
- Conocimiento de los parámetros que determinan la porosidad del hormigón y los mecanismos que conducen a su figuración.
- Conocimiento de los mecanismos principales de transporte de sustancias agresivas a través del hormigón.
- Conocimiento de los criterios de durabilidad incorporados en la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE).
- Conocimiento de otras recomendaciones no normativas y métodos adicionales de protección de las construcciones de hormigón.
- Conocimiento de los aspectos básicos de la evaluación de la vida útil de una estructura en base a modelizaciones matemáticas.
- Desarrollo de la actitud crítica, en particular en la evaluación de documentación científico-técnica.

Para alcanzar estos objetivos, los contenidos teóricos y prácticos impartidos en la asignatura se articulan en los siguientes temas:

- TEMA 1: “Introducción a los conceptos de durabilidad”.
- TEMA 2: “Propiedades del hormigón, microestructura y durabilidad”.
- TEMA 3: “Principales procesos físico-químicos que limitan la durabilidad de las estructuras”.
- TEMA 4: “Clasificaciones de la agresividad ambiental”.
- TEMA 5: “Procesos de transporte a través del hormigón”.
- TEMA 6: “Los criterios de durabilidad en la Instrucción de Hormigón Estructural”.
- TEMA 7: “Introducción a los métodos de evaluación de la vida útil de una estructura”.

Por lo que respecta a la asignatura “**Corrosión metálica en la construcción**” también es de carácter obligatorio y su duración es de 3 créditos ECTS. En este caso, las 30 horas de docencia presencial se reparte en 15 h de clase magistral de teoría, 7,5 h de clase de prácticas de problemas y 7,5 h de prácticas de laboratorio. Las clases magistrales de teoría se apoyan en una serie de transparencias preparadas por los profesores de la asignatura, mientras que las prácticas de problemas se basan en la resolución de ejemplos y casos prácticos. Al igual que en la asignatura de durabilidad, parte de las clases de teoría y de problemas se dedican a la lectura y comentario por parte de los alumnos de artículos y textos relacionados con los contenidos de la asignatura.

Con la asignatura “Corrosión metálica en la construcción” se busca que al finalizar la asignatura el alumno haya adquirido las competencias establecidas sobre el fenómeno de la corrosión y sus efectos en el ámbito de la construcción. Del mismo modo, al finalizar la asignatura se pretende que el alumno sea capaz de buscar información en revistas especializadas, de seleccionar la técnica necesaria para su propósito, interpretar de forma crítica los resultados, y extraer las pertinentes conclusiones.

Los contenidos teóricos y prácticos de esta asignatura se agrupan en los siguientes temas:

- TEMA 1: “Fundamentos de la corrosión”.
 - 1.1. Los metales más usados en la construcción.

- 1.2. Reacciones redox.
 - 1.3. Clasificaciones de los procesos corrosivos.
 - 1.4. Pasividad.
 - 1.5. Termodinámica y cinética de los procesos de corrosión.
 - 1.6. Corrosión localizada por picaduras.
 - 1.7. Métodos para incrementar la estabilidad de los metales. Métodos de protección.
- TEMA 2: “Corrosión metálica en la atmósfera, aguas y suelos”.
 - TEMA 3: “Corrosión y protección de armaduras de acero en hormigón”.

La asignatura “**Técnicas de caracterización microestructural de materiales de construcción**” es de carácter optativo y su duración es de 3 créditos ECTS. En ese caso, la docencia presencial de 30 horas por estudiante se divide en 16 h de clase teórica, 4 h de clase de prácticas con ordenador y 10 h de prácticas de laboratorio. En las clases de teoría se emplean una serie de transparencias elaboradas por los profesores de la asignatura, y además se apoyan en el comentario de artículos científicos por parte del profesorado y los alumnos, con el fin de ilustrar los conceptos explicados durante esas clases. Por otro lado, las prácticas con ordenador se centran en el manejo de software relacionado con algunas técnicas de caracterización de la estructura porosa de materiales base cemento.

En esta asignatura se plantean los siguientes objetivos:

- Comprensión de la importancia del conocimiento de la microestructura de un material de construcción.
- Conocimiento de técnicas clásicas y actuales para caracterizar la red de poros de un material.
- Capacidad de elección de la técnica más adecuada, entre las disponibles, para la necesidad del momento.
- Comprensión de casos de actualidad relacionados con el conocimiento de la microestructura y las soluciones que se adoptan.
- Desarrollar destrezas de trabajo en el laboratorio.
- Desarrollo del espíritu crítico necesario para la actividad investigadora.
- Conocimiento de los motores de búsqueda de referencias bibliográficas actuales.

- Posibilidad de exponer de forma seria y convincente trabajos de investigación.

Los contenidos teóricos y prácticos de esta asignatura se muestran a continuación:

- TEMA 1: “Técnicas clásicas”.
 - 1.1. Absorción isotérmica de nitrógeno a 77 K.
 - 1.2. Absorción-desorción isotérmica de vapor de agua.
 - 1.3. Calorimetría diferencial.
 - 1.4. Porosimetría de intrusión de mercurio.
 - 1.4.1. Estudio de las diversas representaciones.
 - 1.4.2. Determinación cualitativa de la tortuosidad a partir del estudio de la curva de extrusión.
 - 1.5. Principales problemas planteados por estas técnicas.
- TEMA 2: “Generalidades sobre Espectroscopía de Impedancia”.
 - 2.1. Repaso de las bases de electricidad y magnetismo y teoría de circuitos.
 - 2.2. Espectroscopía de impedancia.
 - 2.3. Fundamentos de la técnica.
 - 2.4. Métodos de representación de los espectros de impedancia.
 - 2.5. Validación de las medidas: relaciones de Kramers-Krönig.
 - 2.6. Análisis de impedancia diferencial.
 - 2.7. Circuitos equivalentes.
- TEMA 3: “Espectroscopía de impedancia en materiales de construcción”.
 - 3.1. Diagrama de impedancia del sistema acero-hormigón.
 - 3.2. Descripción de los diversos fenómenos presentes.
 - 3.3. Respuesta dieléctrica de un sólido. Modelo de Debye.
 - 3.4. Influencia de la conductividad del material.
 - 3.5. Respuesta dieléctrica del hormigón. Determinación de los límites en frecuencia.
 - 3.6. Equipamiento.
 - 3.7. Obtención de los espectros de impedancia en materiales porosos.
 - 3.8. Configuraciones electrodo-probetas.

- 3.9. Interpretación de los espectros de impedancia tipo: separación de las constantes de tiempo asociadas a la fase sólida y al electrolito en los poros.
- 3.10. Factores de dispersión simétrica y asimétrica en los espectros de impedancia. Relación de estos factores con la estructura de la red de poros.
- 3.11. Influencia de aditivos en la microestructura de la pasta de cemento. Reflejo de estas modificaciones en los espectros de impedancia.
- 3.12. Estudio de la casos prácticos de actualidad

Por último, en lo referente a la asignatura “**Procedimientos experimentales para el estudio de la corrosión**”, indicar que es optativa y que su duración es de 3 créditos ECTS. La docencia presencial se compone de 15 h de clase teórica y 15 h de prácticas de laboratorio. Las clases de teoría se apoyan transparencias y en la lectura de artículos y otros documentos científicos. Los objetivos planteados en la asignatura son los siguientes:

- Conocer las técnicas experimentales más utilizadas para determinar la velocidad de corrosión de metales en el campo de la construcción.
- Ser capaz de elegir la técnica más adecuada para cada uno de los problemas de corrosión que se puedan plantear.
- Conocer, utilizar y ser capaz de realizar estudios de corrosión en estructuras reales con equipos portátiles comerciales.
- Comprender los mecanismos de corrosión preferentes en los aceros embebidos en hormigón ante el ataque de agresivos.
- Desarrollar destrezas básicas de trabajo en el laboratorio.
- Desarrollo del espíritu crítico necesario para la actividad investigadora.
- Conocimiento de los motores de búsqueda de referencias bibliográficas actuales.
- Capacidad de elaborar informes científico-técnicos rigurosos.

Los contenidos teóricos y prácticos de esta asignatura son los siguientes:

- TEMA 1: “Medidas clásicas de la velocidad de corrosión. DC”.
 - 1.1. Resistencia de polarización (R_p).
 - 1.2. Electrodo de referencia, electrodo de trabajo y contraelectrodo.

- 1.3. Compensación de la caída óhmica.
- 1.4. Voltametría cíclica.
- 1.5. Potencial de picadura, potencial de pasivación y potencial de corrosión.
- TEMA 2: “Métodos AC para determinar la velocidad de corrosión”.
 - 2.1. Espectroscopia de impedancia electroquímica (EIE).
 - 2.2. Disposiciones geométricas de los electrodos. Optimización de la medida.
 - 2.3. Obtención de los espectros de impedancia electroquímica.
 - 2.4. Circuitos equivalentes para la interpretación de los espectros de impedancia en sistemas acero-hormigón.
- TEMA 3: “Dispositivos portátiles para determinar la velocidad de corrosión en estructuras reales”.

Como se ha descrito con anterioridad, entre las 4 asignaturas objeto de estudio en esta red, las prácticas de laboratorio representan un total de 39 horas lectivas. A continuación, se mostrará la propuesta de prácticas de laboratorio coordinadas para estas asignaturas elaboradas en esta red.

2.3. Propuesta de prácticas de laboratorio para las asignaturas del Máster en Ingeniería de Materiales, Agua y Terreno relacionadas con el estudio de la microestructura, durabilidad y corrosión en materiales base cemento.

2.3.1. Prácticas de laboratorio para la asignatura “Durabilidad de las construcciones de hormigón”.

En esta asignatura, la docencia presencial de las prácticas de laboratorio es de 6,5 horas. En la propuesta planteada, estas prácticas se realizarían en tres sesiones, dos de ellas de 2 horas cada una y una de 2,5 horas, cuyo contenido sería el siguiente:

- **Sesión 1** (2,5 horas). Las tareas a realizar durante esta sesión serían las siguientes:
 - Introducción al trabajo en laboratorio.
 - Visita al laboratorio y explicación de los diferentes equipos a manejar durante la práctica.
 - Preparación de los materiales a utilizar para el amasado de morteros. Esta tarea consistiría en pesar la cantidad de cemento, arena y agua

necesaria para la posterior preparación de probetas. A ser posible se prepararían morteros con 3 tipos de cemento comerciales diferentes, para que en los ensayos a realizar en las siguientes prácticas los alumnos observasen las diferencias de comportamiento entre ellos. En principio los cementos propuestos serían un cemento Portland (CEM I 42.5 R), un cemento con adición de escoria de alto horno (III/B 32.5 N/SR) y un cemento con ceniza volante, CEM IV/B(V) 32.5 N, designados también de acuerdo con la norma UNE-EN 197-1 (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2000).

- Elaboración de las probetas de mortero. El amasado de las probetas de mortero se realizaría siguiendo los pasos indicados en la norma UNE-EN 196-1 (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2005). En principio, por cada tipo de cemento se prepararían 2 probetas cilíndricas de 10 cm de diámetro y 15 cm de altura. El posterior desmoldado y corte de las probetas una vez endurecidas sería realizado con posterioridad por el personal técnico del laboratorio. Las probetas se cortarían en cilindros de 1 y 5 cm de espesor, y hasta la siguiente sesión de prácticas se conservarían en cámara húmeda a 20°C de temperatura y un 100% de humedad relativa.
- **Sesión 2** (2 horas). Los trabajos correspondientes a esta sesión se exponen a continuación:
 - Recogida de probetas de la cámara húmeda.
 - Explicación del ensayo de migración de cloruros en el hormigón descrito en la norma NTBuild492 (Nordtest, 1999) y toma de contacto con los equipos utilizados en ese ensayo.
 - Montaje y puesta en marcha del ensayo para 4 probetas de 5 cm de espesor, dos de ellas de cemento tipo III y otras dos de cemento tipo IV. La duración del ensayo es de 24 horas, por lo que al día siguiente la finalización del ensayo sería realizado por parte del personal técnico del laboratorio.
 - Finalización del ensayo en 2 probetas de 5 cm de espesor preparadas con cemento tipo I. Este ensayo habría sido puesto en marcha por el personal técnico del laboratorio 24 horas antes. De este modo, se

permitiría a los alumnos realizar tanto la puesta en marcha del ensayo como su finalización, aunque sea en probetas diferentes.

- Rotura de las probetas de cemento tipo I retiradas previamente del ensayo y medida de la profundidad del frente de penetración de cloruros en ellas.
- Explicación del método multirrégimen de migración de cloruros en el hormigón descrito en la norma UNE 83987 (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2009) y toma de contacto con los equipos utilizados en ese ensayo (véase Figura 1.a). Dadas las características de este ensayo, es excesivamente compleja su realización en una sesión de prácticas.
- **Sesión 3** (2 horas): Las tareas a realizar durante esta sesión serían las siguientes:
 - Recogida de probetas de la cámara húmeda.
 - Explicación del ensayo de absorción capilar en el hormigón descrito en la norma UNE 83982 (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2008a) y toma de contacto con los equipos utilizados en ese ensayo.
 - Montaje y puesta en marcha del ensayo para 6 probetas de 5 cm de espesor, dos por cada tipo de cemento estudiado. La duración del ensayo suele ser de una semana, por lo que el ensayo sería finalizado por el personal técnico del laboratorio.
 - Explicación de las técnicas de medida de la resistividad eléctrica en hormigón descritas en las normas UNE 83988-1 (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2008b) (método de referencia) y UNE 83988-2 (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2008c) (método de las cuatro puntas o de Wenner) y toma de contacto con los equipos utilizados en ambas técnicas.
 - Realización de medidas de resistividad eléctrica en probetas de hormigón y mortero utilizando los dos métodos anteriores (véase Figura 1.b).

La interpretación de los resultados obtenidos en los ensayos se realizaría a posteriori en las clases de prácticas de problemas.

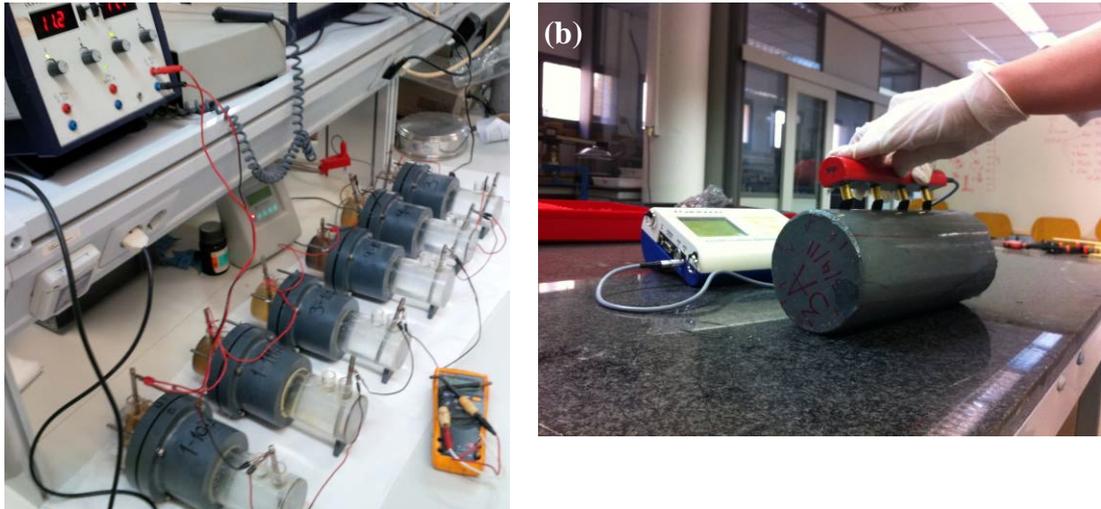


Figura 1. (a) Detalle del montaje experimental del método multirrégimen de migración de cloruros en el hormigón descrito en la norma UNE 83987 (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2009). (b) Imagen de la realización de una medida de resistividad eléctrica por el método de las cuatro puntas o de Wenner recogido en la norma UNE 83988-2 (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2008c).

2.3.2. Prácticas de laboratorio para la asignatura “Corrosión metálica en la construcción”.

En esta asignatura, la docencia presencial de las prácticas de laboratorio es de 7,5 horas. En la propuesta planteada, estas prácticas se realizarían en cuatro sesiones, tres de ellas de 2 horas cada una y una de 1,5 horas, cuyo contenido sería el siguiente:

- **Sesión 1** (2 horas). Las tareas a realizar durante esta sesión serían las siguientes: (amasado)
 - Preparación de los materiales a utilizar para el amasado de morteros. Esta tarea consistiría en pesar la cantidad de cemento, arena y agua necesaria para la posterior preparación de probetas. También se prepararían las barras de acero que quedarían embebidas en las probetas. Se prepararían morteros con 3 tipos de cemento comerciales diferentes, para que en los ensayos a realizar en las siguientes prácticas los alumnos observasen las diferencias de comportamiento entre ellos. En principio los cementos propuestos serían un cemento Portland (CEM I 42.5 R), un cemento con adición de escoria de alto horno (III/B 32.5 N/SR) y un cemento con ceniza volante, CEM IV/B(V) 32.5 N, designados de acuerdo con la norma

UNE-EN 197-1 (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2000).

- Elaboración de las probetas de mortero. El amasado de las probetas de mortero se realizaría siguiendo los pasos indicados en la norma UNE-EN 196-1 (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2005). En principio, por cada tipo de cemento se prepararían 3 probetas cúbicas de 7 cm de arista. En cada una de estas probetas se embebería una barra de acero de 8 cm de longitud (véase Figura 2.a). El posterior desmoldado y corte de las probetas una vez endurecidas sería realizado con posterioridad por el personal técnico del laboratorio. Hasta la siguiente sesión de prácticas las probetas se conservarían en cámara húmeda a 20°C de temperatura y un 100% de humedad relativa.
- **Sesión 2** (2 horas). Las tareas a realizar durante esta sesión serían las siguientes:
 - Recogida de probetas de la cámara húmeda.
 - Explicación del ensayo de penetración de cloruros en el hormigón por el método integral acelerado descrito en la norma UNE 83992-2 EX (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2012) y toma de contacto con los equipos utilizados en ese ensayo.
 - Montaje y puesta en marcha del ensayo para las 9 probetas cúbicas preparadas en la sesión 2 (véase Figura 2.b). La duración del ensayo suele ser de varias semanas, dependiendo de las características del cemento empleado, por lo que la mayoría de las medidas a realizar durante el desarrollo del ensayo serían realizadas por parte del personal técnico del laboratorio, a excepción de las realizadas por los alumnos en las sesiones 3 y 4.
- **Sesión 3** (1,5 horas). Esta sesión se centraría en realizar las siguientes actividades:
 - Seguimiento de los ensayos de penetración de cloruros en el hormigón por el método integral acelerado, iniciados en la sesión 2. Este seguimiento consiste en determinar en las 9 probetas el potencial de corrosión (E_{corr}) y la intensidad de corrosión (i_{corr}) de las armaduras mediante medida de resistencia a la polarización, de

acuerdo con lo indicado en la norma UNE 112072 (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2011).

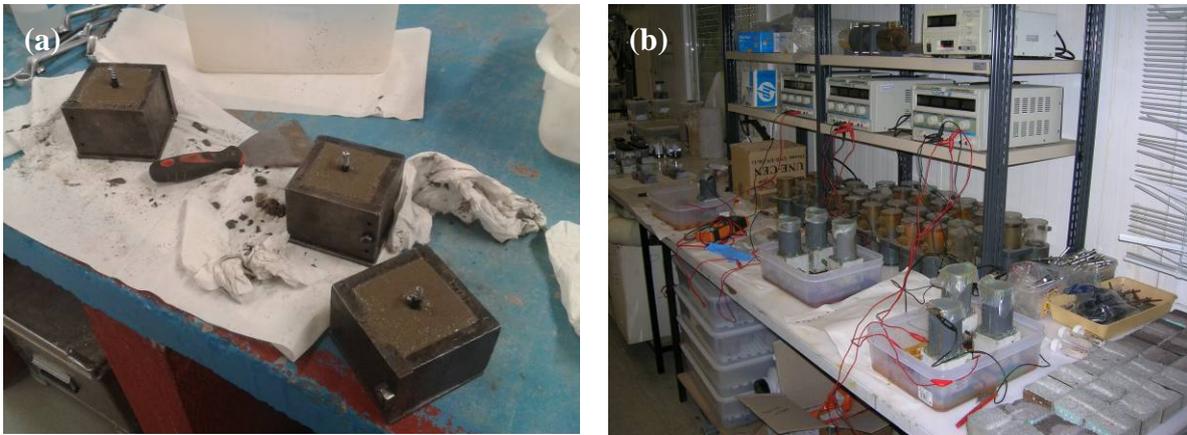


Figura 2. (a) Probetas cúbicas de 7 cm de arista con barra de acero embebida. (b) Montaje experimental del ensayo de penetración de cloruros en el hormigón por el método integral acelerado descrito en la norma UNE 83992-2 EX (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2012).

- **Sesión 4** (2 horas). En esta sesión se llevaría a cabo la finalización de los ensayos iniciados en la sesión 2, que consistiría en las siguientes tareas:
 - Desmontaje del ensayo.
 - Rotura de las probetas y extracción de las barras de acero embebidas en las probetas.
 - Observación del estado de corrosión de las barras de acero.
 - Medida de del frente de penetración de cloruros en las probetas ensayadas.
 - Toma de muestra pulverizada de mortero de la zona de la probeta en contacto con el acero y de la superficie de la probeta.
 - Análisis del contenido de cloruros de las muestras extraídas.

Al igual que se ha comentado con anterioridad, en el caso de esta asignatura también sería de interés realizar a posteriori en las clases de prácticas de problemas la interpretación de los resultados obtenidos en los ensayos.

2.3.3. Prácticas de laboratorio para la asignatura “Técnicas de caracterización microestructural de materiales de construcción”.

En esta asignatura, la docencia presencial de las prácticas de laboratorio es de 10 horas. En la propuesta planteada, estas prácticas se realizarían en cinco sesiones, todas ellas de 2 horas, cuyo contenido sería el siguiente:

- **Sesión 1** (2 horas). Esta sesión de prácticas de laboratorio consistiría en una visita a los laboratorios de los servicios técnicos de investigación de la Universidad de Alicante, en los que se mostraría a los alumnos los diferentes equipos allí existentes para la caracterización de la microestructura de materiales, tales como la microscopía electrónica de barrido, microscopía electrónica de transmisión, etc.
- **Sesión 2** (2 horas). Esta sesión se dedicará a la técnica de la porosimetría de intrusión de mercurio. En primer lugar, se presentara el equipo para realizar el ensayo, que es un porosímetro modelo Autopore IV 9500 del fabricante Micromeritics, y el software para su manejo. A continuación, se realizará el ensayo en dos muestras de mortero u hormigón, y se analizarán las curvas y resultados obtenidos.
- **Sesión 3** (2 horas). En esta sesión se presentarán los dos equipos existentes en el laboratorio para realizar medidas de espectroscopía de impedancia, así como el software empleado para el ajuste de esas medidas. A continuación, se obtendrán y analizarán diferentes espectros de impedancia en los circuitos patrón se dispone en el laboratorio.
- **Sesión 4** (2 horas). En esta sesión se realizarán medidas de espectroscopía de impedancia en probetas de mortero y hormigón preparadas con cemento Portland. Las probetas utilizadas serían cilindros de 10 cm de diámetro y 1 o 5 cm de espesor. Estas probetas serían previamente preparadas por el personal técnico del laboratorio, o bien, se trataría de probetas que estuviesen siendo utilizadas en investigaciones del grupo. Una vez realizadas las medidas, se realizarían los análisis de los espectros de impedancia obtenidos.
- **Sesión 5** (2 horas). Esta sesión consistirá en la toma de medidas de espectroscopía de impedancia en probetas de mortero y hormigón preparadas con cementos que contienen adiciones, como escoria de alto horno y ceniza volante. La geometría de las probetas empleadas sería la misma que se ha expuesto en la descripción de la sesión 4. Al igual que en aquella sesión, en ésta después de realizar las medidas, también se analizarán los espectros de impedancia obtenidos, y se compararían los resultados obtenidos con los de la sesión 4

2.3.4. Prácticas de laboratorio para la asignatura “Procedimientos experimentales para el estudio de la corrosión”.

En esta asignatura, la docencia presencial de las prácticas de laboratorio es de 15 horas. En la propuesta planteada, estas prácticas se realizarían en 8 sesiones, 6 de ellas tendrían una duración de 2 horas, y las dos restantes de 1,5 horas. El planteamiento de las prácticas de laboratorio de esta asignatura consiste en que los alumnos realicen una investigación en la que estudien la evolución de los parámetros relacionados con la corrosión en probetas preparadas con diferentes tipos de cemento y sometidas a diferentes exposiciones. Para ello, las primeras sesiones se utilizarían para la preparación de materiales y amasado de probetas, y las siguientes para toma de medidas de seguimiento.

Las probetas ensayadas serían cilindros de 5 cm de diámetro y 10 cm de altura, con barras de acero embebidas. Estas probetas serían de pasta de cemento, elaboradas con 3 tipos de cemento comerciales diferentes. Los cementos propuestos serían un cemento Portland (CEM I 42.5 R), un cemento con adición de escoria de alto horno (III/B 32.5 N/SR) y un cemento con ceniza volante, CEM IV/B(V) 32.5 N. Se prepararían 5 probetas por cada tipo de cemento, por lo que crearíamos 5 grupos de 3 probetas (una de cada tipo de cemento). Cada uno de los grupos tendría las siguientes características:

- **Probetas grupo 1.** Durante toda la investigación estas probetas se conservarían en cámara húmeda a 20°C y a una humedad relativa del 100%. Se utilizarían como referencia de comportamiento.
- **Probetas grupo 2.** Estas probetas se conservarían también en cámara húmeda, pero en el amasado se emplearía una disolución de NaCl 1 M, en lugar de agua destilada como en el resto de probetas, para ver el efecto que esto tiene en la corrosión de armaduras.
- **Probetas grupo 3.** Estas probetas se mantendrían a lo largo de la investigación sumergidas totalmente en una disolución de NaCl 1 M, en un recipiente abierto.
- **Probetas grupo 4.** Estas probetas se también conservarían en un recipiente abierto, pero parcialmente sumergidas en una disolución de NaCl 1 M, aproximadamente hasta la mitad de altura de la probeta.

- **Probetas grupo 5.** Durante la investigación, estas probetas estarían expuestas a la intemperie en la estación que el grupo posee en el propio campus de la Universidad de Alicante, en las proximidades de la autovía A-7, para ver cómo afecta este ambiente al fenómeno de la corrosión.

Una vez elaboradas estas probetas, los alumnos realizarían un seguimiento de la evolución del potencial y la intensidad de corrosión de los diferentes grupos de probetas, mediante las técnicas de la resistencia a la polarización y las pendientes de Taffel, durante las sesiones de prácticas de laboratorio de la asignatura. Además, en alguna de estas sesiones se aprovecharía para mostrar otras técnicas para el estudio de la corrosión existentes en los laboratorios del grupo de investigación. En vista de todo lo anterior, se propondría el siguiente contenido en las sesiones de prácticas de laboratorio de esta asignatura:

- **Sesión 1** (1,5 horas). Preparación de los materiales a utilizar para el amasado de las probetas. Esta tarea consistiría en pesar la cantidad de cemento y preparar las barras de acero que quedarían embebidas en las probetas, así como los moldes a utilizar.
- **Sesión 2** (2 horas). Amasado de las probetas.
- **Sesión 3** (2 horas). Desmoldado de probetas, y toma de las medidas iniciales de potencial e intensidad de corrosión. Preparación de los medios a los que se van a exponer las probetas.
- **Sesión 4** (2 horas). Toma de medidas de potencial e intensidad de corrosión e inicio de la exposición de cada grupo probetas al ambiente que le corresponda.
- **Sesión 5** (2 horas). Toma de medidas de potencial e intensidad de corrosión en la mitad de los grupos de probetas estudiados en la primera mitad de la sesión. La segunda mitad de la sesión se empleará en realizar una medida de espectroscopía de impedancia en una de las probetas, para que los alumnos puedan ver cómo se realiza este tipo de medida.
- **Sesión 6** (1,5 horas). Durante la primera parte de la sesión, los alumnos realizarán las medidas de potencial e intensidad de corrosión en las probetas que no se midieron en la sesión 5. En la segunda mitad de la sesión se mostrará el equipo GECOR para determinar la velocidad de corrosión en

estructuras reales, y se empleará en la toma de medidas en varias probetas pertenecientes a investigaciones en curso por parte del grupo.

- **Sesión 7** (2 horas). Toma de medidas de potencial e intensidad de corrosión en todos los grupos de probetas estudiados.
- **Sesión 8** (2 horas). Toma de medidas de potencial e intensidad de corrosión en todos los grupos de probetas estudiados. Realización de ensayos de voltametría cíclica en alguna de las probetas empleadas durante el curso.

3. CONCLUSIONES

A lo largo de esta memoria se ha elaborado una propuesta de sesiones prácticas de laboratorio coordinadas entre las asignaturas que tratan aspectos relacionados con la microestructura, durabilidad y estudio de la corrosión en materiales base cemento, impartidas en el Máster en Ingeniería de los Materiales, Agua y Terreno de la Universidad de Alicante. En estas sesiones se incluyen la realización de numerosos ensayos de laboratorio, todos ellos utilizados en las investigaciones del grupo “Durabilidad de materiales y construcciones en ingeniería y arquitectura”. Además, las sesiones están planteadas de tal forma que los alumnos participen tanto en la elaboración de materiales a ensayar, como en la propia realización del ensayo e interpretación de los resultados. Con ello, se busca mejorar el aprendizaje de los contenidos tratados en estas asignaturas por parte de los alumnos, optimizando de este modo el proceso de enseñanza-aprendizaje.

4. DIFICULTADES ENCONTRADAS

La principal dificultad encontrada ha sido conseguir adaptar los diferentes ensayos, que por lo general suelen tener duraciones elevadas (más de 1 día en la mayoría de casos), a sesiones relativamente cortas, para que los alumnos puedan ver lo más importante de su puesta en marcha y desarrollo. Por otra parte, este curso 2013-14 únicamente han podido ponerse en práctica parcialmente las prácticas de laboratorio establecidas en esta propuesta, concretamente en las asignaturas “Técnicas de caracterización microestructural de materiales de construcción” y “Procedimientos experimentales para el estudio de la corrosión”. Por ello, para analizar el resultado global de la propuesta habría que implementar las prácticas aquí mostradas en la totalidad de las asignaturas implicadas, cosa que se espera realizar en próximos cursos académicos.

5. PROPUESTAS DE MEJORA

Una vez elaborada esta propuesta, se deberá trabajar en su puesta en práctica de forma completa en todas las asignaturas implicadas, para así ver los resultados que conlleva y así poder plantear posibles mejoras de cara a un futuro.

6. PREVISIÓN DE CONTINUIDAD

El seguimiento de la puesta en práctica de la propuesta planteada en esta red se podría tratar en un nuevo proyecto de Redes.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Asociación Española de Normalización y Certificación (2000). *Cemento. Parte 1: Composición, especificaciones y criterios de conformidad de los cementos comunes. Norma UNE-EN 197-1*, Madrid.

Asociación Española de Normalización y Certificación (2005). *Métodos de ensayo de cementos. Parte 1: Determinación de resistencias mecánicas. Norma UNE-EN 196-1*, Madrid.

Asociación Española de Normalización y Certificación (2008). *Durabilidad del hormigón. Métodos de ensayo. Determinación de la absorción de agua por capilaridad del hormigón endurecido. Método Fagerlund. Norma UNE 83982*, Madrid.

Asociación Española de Normalización y Certificación (2008). *Durabilidad del hormigón. Métodos de ensayo. Determinación de la resistividad eléctrica. Parte 1: Método directo (método de referencia). Norma UNE 83988-1*, Madrid.

Asociación Española de Normalización y Certificación (2008). *Durabilidad del hormigón. Métodos de ensayo. Determinación de la resistividad eléctrica. Parte 2: Método de las cuatro puntas o de Wenner. Norma UNE 83988-2*, Madrid.

Asociación Española de Normalización y Certificación (2009). *Durabilidad del hormigón. Métodos de ensayo. Determinación de los coeficientes de difusión de los iones cloruro en el hormigón endurecido. Método multirrégimen. Norma UNE 83987*. Madrid.

Asociación Española de Normalización y Certificación (2011). *Determinación de la velocidad de corrosión de armaduras en laboratorio mediante medida de la resistencia a la polarización. Norma UNE 112072*, Madrid.

- Asociación Española de Normalización y Certificación (2012). *Durabilidad del hormigón. Métodos de ensayo. Ensayos de penetración de cloruros en el hormigón. Parte 2: Método integral acelerado. Norma UNE 83992-2 EX*, Madrid.
- Bermejo, J.C. (2009). Words, only words. El proceso de Bolonia, o como cuadrar el caos. *Ingeniería y Territorio*, 87, 14-19.
- Cabeza, M., Diaz, B., Freire, L. Sánchez, I. (2012). Aplicaciones de la metodología del aprendizaje basado en problemas a la ingeniería de materiales. *Investigaciones sobre docencia Universitaria y Nuevas Metodologías*. Educación Editoria, Ourense, España.
- Morell, T. (2004). *La interacción en la clase magistral*. Ed. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Alicante.
- Morell, T. (2007). La difusión oral del conocimiento: las clases magistrales y las ponencias en congresos. *Las lenguas profesionales y académica*. Ed Ariel.
- Nordtest (1999). *NT Build 492. Concrete, mortar and cement-based repair materials: chloride migration coefficient from non-steady-state migration experiments*, Espoo, Finland.
- Northcott, J. (2001). Towards an ethnography of the MBA classroom: a consideration of the role of interactive lecturing styles within the context of the MBA program. *English for Specific Purposes*, 20, 15-37.
- Ortega, J.M., Varona, F.B., López, J.M. (2013). A proposal of computer practical classes related to reinforced concrete structures for Civil Engineering and Architecture degrees. *Edulearn 13*, Barcelona, España.
- Rodriguez-Vellando, P. (2009). La enseñanza de la Ingeniería Civil en Europa y su adaptación a Bolonia. El caso español. *Ingeniería y Territorio*, 87, 32-37.
- Sanchez, I., Zornoza, E., Garcés, P. Climent, M.A. (2011). The importance of reduced groups in the adaptation of the engineering studies to the EHEA. The case of chemistry for civil engineering. *Edulearn 11*, Barcelona, España.
- Varona, F.B., Ortega, J.M. (2013). Adaptación e innovación en la docencia de Estructuras Metálicas en el contexto del Grado en Ingeniería Civil. *III Jornadas Internacionales de Enseñanza de la Ingeniería Estructural*, Valencia, España.