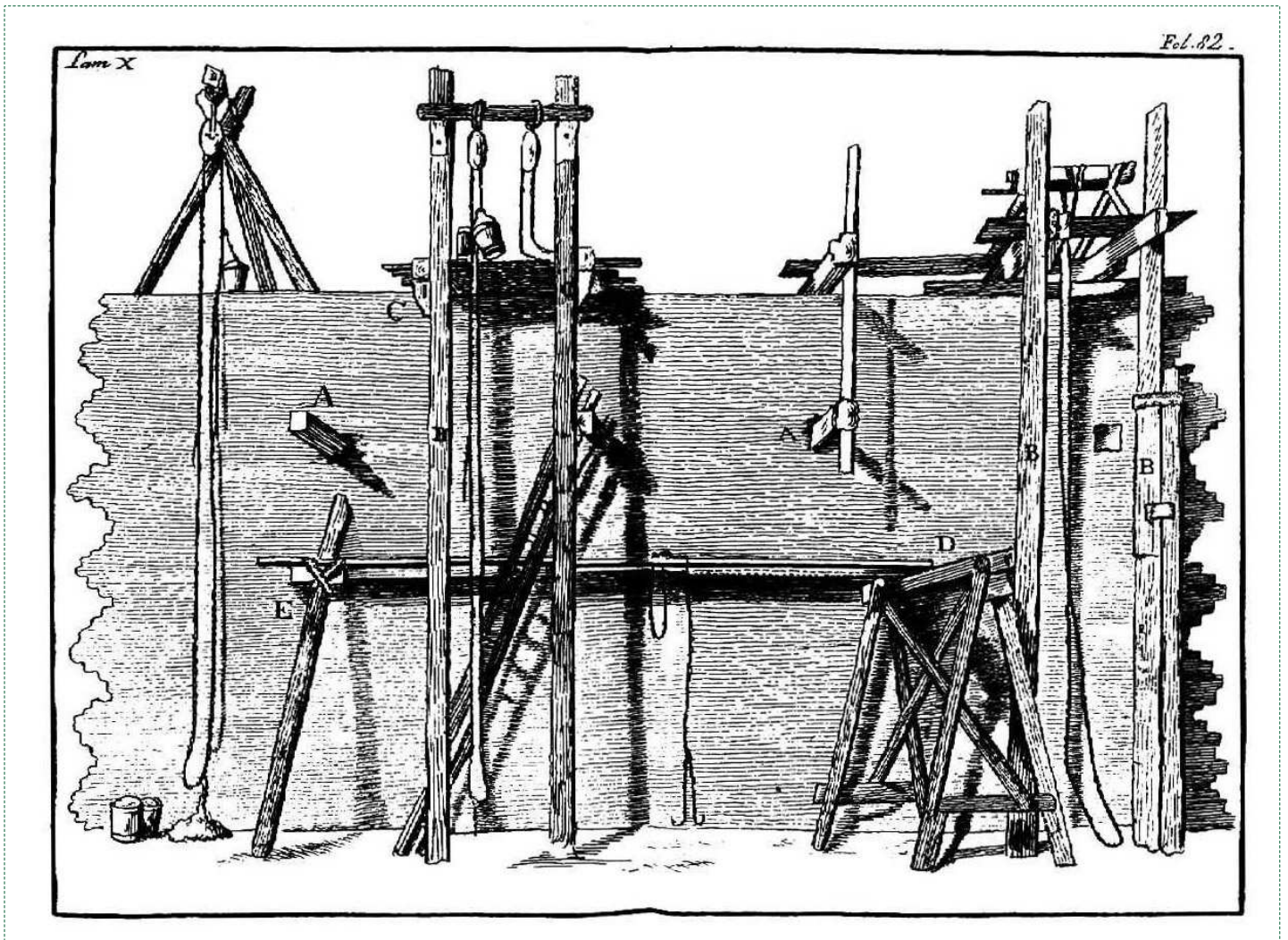




INICIACIÓN A LA DIAGNOSIS E INTERVENCIÓN DE EDIFICIOS HISTÓRICOS
CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES EN OBRAS HISTÓRICAS





INICIACIÓN A LA DIAGNOSIS E INTERVENCIÓN DE EDIFICIOS HISTÓRICOS

CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES EN OBRAS HISTÓRICAS



1. INTRODUCCIÓN

En las ciudades y pueblos de España los edificios construidos hasta 1880, cuya edad actual es mayor de 100 años, tuvieron casi sin excepción estructura constituida por muros, de fábrica en sus fachadas, de fábrica o entramados de madera en su interior y medianerías, y pisos con forjados de viguetas de madera, o con bóvedas de fábrica en algún caso, principalmente en sótanos.

Los edificios construidos en los 30 años siguientes, hasta 1910, tuvieron en gran número el mismo sistema estructural, sustituyéndose paulatinamente las vigas de madera por perfiles de acero laminado.

En las ciudades comenzó a utilizarse la estructura constituida por pilares, vigas y forjados de acero laminado, con ó sin muros de fábrica en sus fachadas.

Hacia 1910 aparece el hormigón armado. En los sucesivos 3 decenios, hasta 1940, fue aumentando el porcentaje de edificios construidos con estructura de acero laminado, y progresivamente de hormigón armado, ejecutándose pisos de losa maciza o forjado aligerado, sobre muros de fábrica, y estructuras de pilares, vigas y forjados de hormigón en porcentaje creciente.

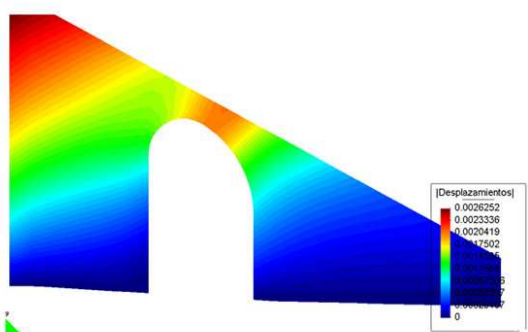
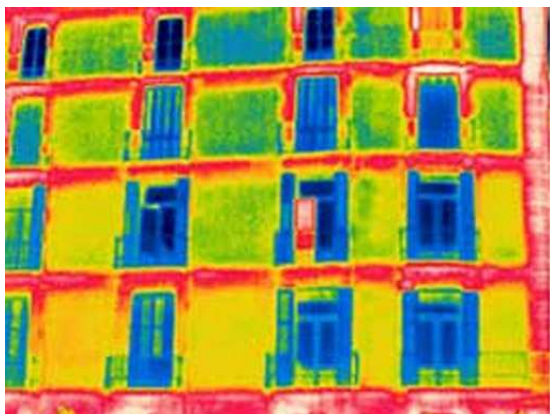
Desde 1940 la estructura reticular, porticada, de hormigón armado es la mas frecuentemente empleada, por razones de economía.

Los edificios con estructura con muros de fábrica, y forjados con vigerío de madera o metálico, constituyen, por tanto, un importante conjunto del parque inmobiliario español.

La mayoría son obras antiguas, levantadas hace mas de medio siglo, y que en algunos casos forman parte de nuestro patrimonio.

INICIACIÓN A LA DIAGNOSIS E INTERVENCIÓN DE EDIFICIOS HISTÓRICOS

CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES EN OBRAS HISTÓRICAS



2. ESTUDIOS TÉCNICOS Y DE CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES

En proyectos de rehabilitación como consecuencia de ampliaciones, cambios de uso, es a menudo necesario analizar el comportamiento de estos materiales y tipologías estructurales ya en desuso. Por otro lado, incluso para los materiales más habituales, acero estructural y hormigón armado, las calidades empleadas, desde finales del siglo XIX para el primero, y principios del XX para el segundo, no tienen nada que ver con las prescripciones de las normativas vigentes.

El Departamento de Evaluación Estructural y Patología dispone de más de 20 años de experiencia en el estudio, análisis y evaluación de este tipo de construcciones, asistiendo además, a la propiedad y a los proyectistas, a la toma de decisiones relativas a la aceptación de los diferentes elementos constructivos, o al diseño de recalces de cimentación y refuerzos estructurales, para alcanzar los niveles de seguridad necesarios, función de los usos previstos.

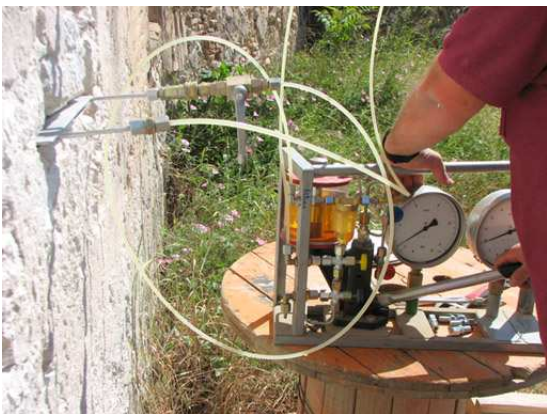
Los estudios técnicos y de caracterización de materiales incluyen, de forma general, los siguientes trabajos:

- ✓ Reconocimientos previos del estado de las edificaciones o estructuras a investigar.
- ✓ Caracterización de la geometría estructural y/o verificación de la información disponible de proyecto.
- ✓ Campaña de toma de muestras, ensayos "in situ" y de laboratorio y para valorar las propiedades resistentes de los materiales empleados, y caracterización según la normativa de la época, en su caso.
- ✓ Realización de ensayos de carga, en obra o en laboratorio, para determinar la capacidad portante residual de algunos elementos estructurales, como forjados o vigas.
- ✓ Realización de modelos complejos de análisis estructural, (p.e. mediante elementos finitos), para valorar el nivel de seguridad y la funcionalidad de las estructuras afectadas.
- ✓ Informes técnicos resumen de los distintos trabajos realizados, con conclusiones y recomendaciones de intervención, en caso necesario, para adaptar las condiciones de seguridad, funcionalidad y durabilidad de las construcciones a la normativa vigente, Código Técnico de la Edificación, Norma de Construcción Sismorresistente, etc..



INICIACIÓN A LA DIAGNOSIS E INTERVENCIÓN DE EDIFICIOS HISTÓRICOS

CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES EN OBRAS HISTÓRICAS



3. TIPOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS Y ENSAYOS DISPONIBLES

3.1. Fábricas

Aunque el Código Técnico dispone de un Documento Básico, DB-SE-F, "Fábricas", limitado a elementos constructivos resueltos mediante piezas de pequeña dimensión, (ladrillos o bloques), respecto a la dimensión del muro, y no hace referencia alguna a otros tipo fábricas, p.e. tapial, mampostería, sillería, o fábricas mixtas, (mampostería reforzada con verdugadas de ladrillo o con sillería, muros doblados, reforzados con madera, etc..), tan frecuentes en nuestro territorio.

En general, en los edificios más antiguos, tanto los morteros empleados, (cal y arena), como las piezas cerámicas, presentan una calidad sensiblemente inferior a la que prescriben actualmente la normativa. A su vez es frecuente encontrar patologías y problemas de todo tipo, p.e. fábricas de varias hojas con rellenos no estructurales, problemas de heterogeneidad entre paños, espesores de mortero muy elevados, pérdidas de mortero o de las piezas de la fábrica, etc., síntomas todos ellos de la baja calidad y escasa resistencia de estos elementos constructivos.

La estimación de los parámetros resistentes de las fábricas es compleja. Los más habituales pasan por la extracción de muestras de mortero y piezas cerámicas para su ensayo en laboratorio, (geometría, densidad, resistencia a compresión, heladicidad, etc..), para poder evaluar la tensión admisible de las fábricas de forma aproximada, en función del espesor, plasticidad y resistencia de los morteros, (propiedades siempre difíciles de analizar), de acuerdo a bibliografía técnica especializada.

Una alternativa de interés es la realización "in situ" de ensayos de gatos planos, -flat jack-. Estos ensayos pueden ser simples, (para evaluar niveles de tensión en paños cargados), o dobles, para evaluar las curvas tensión-deformación de las fábricas, valorar el rango de trabajo elástico, e incluso estimar la carga de rotura y tensión admisible de las mismas.

En cualquier caso son ensayos costosos y de difícil interpretación, a lo que hay que sumar la elevada heterogeneidad de fábricas que dificulta realizar campañas de investigación que puedan considerarse como representativas.

INICIACIÓN A LA DIAGNOSIS E INTERVENCIÓN DE EDIFICIOS HISTÓRICOS

CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES EN OBRAS HISTÓRICAS



3.2. Madera

Hasta la irrupción del acero laminado en las estructuras, la madera era el elemento más extendido en la construcción de forjados, vigas y cerchas en cubiertas, empleándose además en otros elementos, como dinteles e incluso pilares.

El Código Técnico, en el Documento Básico, DB-SE-M, "Madera", recoge distintas calidades para madera conífera en sección maciza, la más frecuente en nuestro territorio.

En general, en aquellas ubicaciones donde el mantenimiento de los elementos de madera ha sido adecuado, el estado de conservación de los elementos de madera es bueno, pudiendo aprovecharse. Los mayores problemas de deterioro suelen localizarse en cubiertas y apoyos en muros, donde la pudrición y la presencia de xilófagos, (carcoma, termitas, etc..), causa problemas graves de estabilidad y seguridad estructural.

Por otra parte, incluso en elementos de madera sana a menudo se aprecian muchas irregularidades, (fendas, gemas, fisuras por desecación, etc..), que no permiten adoptar calidades resistentes elevadas. Además, en muchas obras las dimensiones de las escuadras de las vigas de madera son claramente insuficientes en relación a la luz y a las cargas existentes, (la madera, por sus propiedades, trabaja mejor bajo cargas de corta duración). Esto explica las elevadas deformaciones que suelen apreciarse en los forjados y elementos de mayor luz y con mayores cargas muertas.

La identificación de la calidad resistente de la madera se efectúa a partir de la determinación de su naturaleza, (coníferas generalmente), de la inspección de las irregularidades y de la realización de ensayos para establecer su homogeneidad y estado sanitario. Los dos ensayos principales son el ultrasonidos y el resistógrafo.

En el primero se mide la velocidad de paso de una onda ultrasónica, entre un emisor y un receptor, a través de una sección de madera, permitiendo estimar parámetros de módulo de deformación y resistencia.

En el segundo equipo medimos la resistencia al avance de un taladro de pequeño diámetro, lo que permite investigar zonas más delicadas, como los apoyos.



INICIACIÓN A LA DIAGNOSIS E INTERVENCIÓN DE EDIFICIOS HISTÓRICOS

CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES EN OBRAS HISTÓRICAS



3.3. Acero estructural

Ya se ha comentado previamente que desde finales del siglo XIX se fueron sustituyendo paulatinamente los elementos constructivos en madera por elementos metálicos; primero los forjados, posteriormente los muros interiores por entramados, con pilares y vigas metálicas, manteniendo muros de carga en las fachadas.

Durante estos primeros años se produjo, así mismo, una rápida expansión del acero a la construcción industrial de naves, dada su ligereza, así como a la obra civil, (puentes, p.e. de ferrocarril).

En general los primeros aceros, aunque de unas propiedades resistentes, -módulo de deformación y límite elástico-, similares a las calidades más bajas empleadas ahora, eran de una heterogeneidad muy superior. Ello es debido al contenido de aleantes, que daba lugar a aceros de carácter menos dúctil a los empleados hoy, y con problemas de fragilidad.

Otro problema de estos primeros aceros es la cantidad de impurezas en su constitución, fundamentalmente azufre (S) y fósforo (P), que afectan a la soldabilidad.

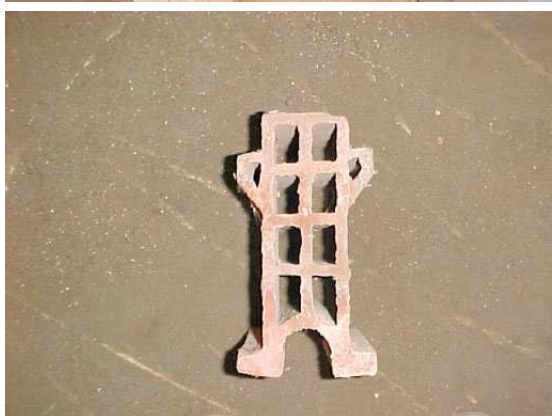
Hasta la entrada en vigor del Código Técnico, Documento Básico, DB-SE-A, "Acero", la normativa en España relativa a estructuras metálicas en edificación pasaba por las "Normas para el Cálculo y Ejecución de Estructuras Metálicas, Hormigón Armado y Forjados de Ladrillo Armado", del año 1941, y por la Normas Básicas de la Edificación, MV-102 "Acero Laminado para Estructuras de Edificación", que posteriormente se llamó NBE-EA/95, "Estructuras de Acero en Edificación", (prácticamente sin cambios en la redacción).

Por otro lado, aunque en condiciones ambientales adecuadas la durabilidad del acero es elevada, en ubicaciones donde se produce un fácil acceso del agua, unido a un deficiente mantenimiento, son frecuentes los problemas de corrosión por pila galvánica, llegando a producirse pérdidas de sección importantes, que pueden afectar a la estabilidad y seguridad estructural.

Los estudios de caracterización de acero laminado en estructuras suelen incluir campañas de caracterización de la geometría, verificando dimensiones y espesores de perfiles.

INICIACIÓN A LA DIAGNOSIS E INTERVENCIÓN DE EDIFICIOS HISTÓRICOS

CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES EN OBRAS HISTÓRICAS



En los comienzos no era infrecuente emplear perfiles en doble T que no se ajustan a las series empleadas actualmente, p.e. IPN, o incluso carriles de tren como elemento estructural.

Para determinar la resistencia del acero y su soldabilidad, aspectos importantes de cara a analizar la seguridad estructural y diseño de alternativas de refuerzo, los ensayos más frecuentes son los de tracción, que permiten la determinación del límite elástico, carga de rotura y alargamiento, (estos dos últimos dan una medida de la ductilidad), y el análisis químico del contenido de aleantes e impurezas del acero.

3.4. Hormigón

Hacia 1910 aparece el hormigón armado. En los sucesivos 3 decenios, hasta 1940, fue aumentando el porcentaje de edificios construidos con estructura de hormigón armado. Hasta la entrada de los forjados con piezas prefabricadas de hormigón, (viguetas autorresistentes primero, y después elementos semirresistentes), las soluciones más habituales eran forjados realizados "in situ", de losa maciza o aligerados con piezas cerámicas, o forjados con nervios de ladrillo armado, (los denominados de violín).

Al principio el apoyo de los forjados era sobre muros de fábrica, para posteriormente ir incrementándose el apoyo de los forjados sobre estructuras aporticadas de pilares, (en algún caso de fábrica), y vigas de hormigón armado. Desde 1940 la estructura reticular, porticada, de hormigón armado es la más frecuentemente empleada, por razones de economía.

En el caso del hormigón el conocimiento de la normativa es una herramienta imprescindible para valorar la seguridad de las estructuras. Desde la Instrucción de Hormigón del año 1939, pasando por las "Normas para el Cálculo y Ejecución de Estructuras Metálicas, Hormigón Armado y Forjados de Ladrillo Armado", del año 1941, la "Instrucción para el Proyecto y la Ejecución de Obras de Hormigón en Masa o Armado", desde la EH-68, pasando por la EH-73, EH-82, EH-88 y EH-91, hasta la vigente "Instrucción de Hormigón Estructural", EHE-98 y vigente EHE-08.

Es precisamente la Instrucción EH-68 la que introdujo conceptos tan importantes como los estados límites, los coeficientes de mayoración de acciones y minoración de resistencias, (análisis semiprobabilista), o el análisis en rotura a nivel seccional.



INICIACIÓN A LA DIAGNOSIS E INTERVENCIÓN DE EDIFICIOS HISTÓRICOS

CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES EN OBRAS HISTÓRICAS



Las exigencias de estas normas han evolucionado de forma importante con el tiempo. Baste decir que la calidad mínima para hormigón armado ha pasado de los 120 kg/cm² de las primeras normas, a 25 N/mm², (~250 kg/cm²), en la vigente EHE. Lo mismo puede decirse de los aceros, que durante los primeros años eran lisos, empleándose hoy en día únicamente los aceros corrugados, de alta adherencia. No es por tanto infrecuente encontrarse con hormigones en pre-existentes de calidades muy bajas, con armaduras formadas por perfiles metálicos, flejes o barras lisas o corrugadas de diámetros distintos a la serie empleada en la actualidad, en los que no se cumplen muchos de los criterios de cuantías mecánicas o geométricas de armaduras que imponen las Instrucciones más recientes.

Por otro lado, dada la baja calidad de estos materiales, son muy frecuentes los daños y lesiones relacionadas con problemas de durabilidad. Es frecuente encontrarse con hormigones muy poco compactos y permeables, en los que los procesos de carbonatación del hormigón dan lugar a la despasivación de las armaduras, lo que unido a la presencia de agua, (arranques de pilares, sótanos, elementos expuestos a la intemperie, etc.), y agentes agresivos, (p.e. el cloro marino aéreo), favorece los procesos de corrosión, pérdida de sección del acero y del recubrimiento de las armaduras.

Los estudios de estructuras existentes de hormigón armado suelen estar orientados a identificar la calidad de los materiales empleados. En el caso del hormigón es frecuente realizar la investigación mediante ensayos no destructivos, (esclerometría y ultrasonidos), y correlacionarlos estadísticamente con la rotura de probetas-testigo extraídas en los mismos elementos. Para los elementos de acero, si es posible, se extraen muestras para su identificación y ensayo a tracción en laboratorio.

En cualquier caso, las estructuras de hormigón armado son complejas dado que, para una correcta evaluación de la seguridad estructural es necesario disponer de información detallada del proyecto, o una reconstrucción de esta información, incluida la caracterización de la geometría estructural, (secciones de elementos constructivos), disposiciones y cuantías mecánicas, (p.e. barras levantadas en apoyos de vigas para soportar los cortantes, o estribos), además de la identificación de la calidad de los materiales empleados. En este sentido la sonda magnética permite, en algunos casos, identificar las armaduras, aunque en general será necesaria una campaña de calas de inspección.



INICIACIÓN A LA DIAGNOSIS E INTERVENCIÓN DE EDIFICIOS HISTÓRICOS

CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES EN OBRAS HISTÓRICAS



En otros casos la dificultad para caracterizar la geometría estructural de algunos elementos, (p.e. forjados o vigas), o la complejidad para evaluar algunos de los daños detectados, (p.e. fisuración, pérdidas de sección por corrosión, daños por impactos, etc.), nos puede llevar a plantear una investigación de la capacidad portante de esos elementos mediante la realización de ensayos de carga.

4. BIBLIOGRAFÍA

- Prescripciones P.I.E.T. 70; Obras de Fábrica. Instituto Eduardo Torroja. 1970.
- Norma Tecnológica; NTE EFL-1977; Estructuras. Fábrica de Ladrillo. M.O.P.U.. R1988.
- Norma Tecnológica; NTE EFB-1974; Estructuras. Fábrica de Bloques. M.O.P.U.. R1988.
- Norma Tecnológica; NTE EFP-1979; Estructuras. Fábrica de Piedra. M.O.P.U.. R1988.
- Curso de Rehabilitación C.O.A.M.; 5.- La Estructura. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid. 1984.
- Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas; Monografía. Restauración de edificios monumentales. M.O.P.T.M.A.-1994.