

La durabilidad en los materiales y estructuras (*)

Por JESUS L. PRESA SANTOS

Dr. Ingeniero de Caminos. DIP. E. de O. Industrial. Jefe Departamento de Calidad de AGROMAN

En las recientes "Jornadas sobre la Calidad en la Construcción y el Mercado Unico" organizadas por el SEOPAN y CEDEX se han tratado temas como el del control de la calidad en la ejecución de las obras y el seguro decenal relacionado con la misma.

El tema de la durabilidad que afecta a la construcción en general después de los 15 ó 20 años, frente al cual el usuario queda desprotegido en aquel seguro, resulta tratado de forma inconcreta y somera incluso en las nuevas normas y eurocódigos europeos.

En el presente artículo pretendemos darle el relieve que se merece y establecemos algunas directrices para tenerlas en cuenta a la hora de proyectar y construir e incluso de cubrir su riesgo con el seguro oportuno.

1. INTRODUCCION

El tema de la durabilidad de los materiales y de las estructuras es una cuestión que se ha eludido dentro del sistema de calidad que se pretende establecer para la construcción en el Mercado Unico Europeo.

De ser un requisito esencial (el 7º) ha quedado diluido en los restantes y sobre todo en el encauzamiento en el que se indica que "dichos requisitos deberán cumplirse durante un período de vida económicamente razonable" que nos recuerda aquella regla universal, casi previa a la aparición de normas que decía algo así como "las obras se realizarán de acuerdo con las reglas de la buena construcción" que lo decía todo y no concretaba nada entrando en la filosofía de cuál es un período económicamente razonable así como cuales son las reglas de la buena construcción.

Por su parte se está tratando de introducir en España el seguro decenal obligatorio para la edificación como existe ya en Francia, que podemos pensar abarca a la resolución de los problemas de la mala ejecución, que resuelven en parte los problemas de durabilidad, que en el caso de la edificación de viviendas comienzan a aparecer al cabo de unos 20 años quedando el propietario del piso desamparado dentro de un período de vida más que, económicamente, socialmente razonable.

UN PROBLEMA REAL

El problema de las viguetas hechas con cemento aluminoso es un problema real de defecto de durabilidad más que de mala ejecución.

La legislación española y como podemos comprobar la comunitaria no saben como darle solución y, es más, parece que tampoco lo sabrán en el futuro inmediato.

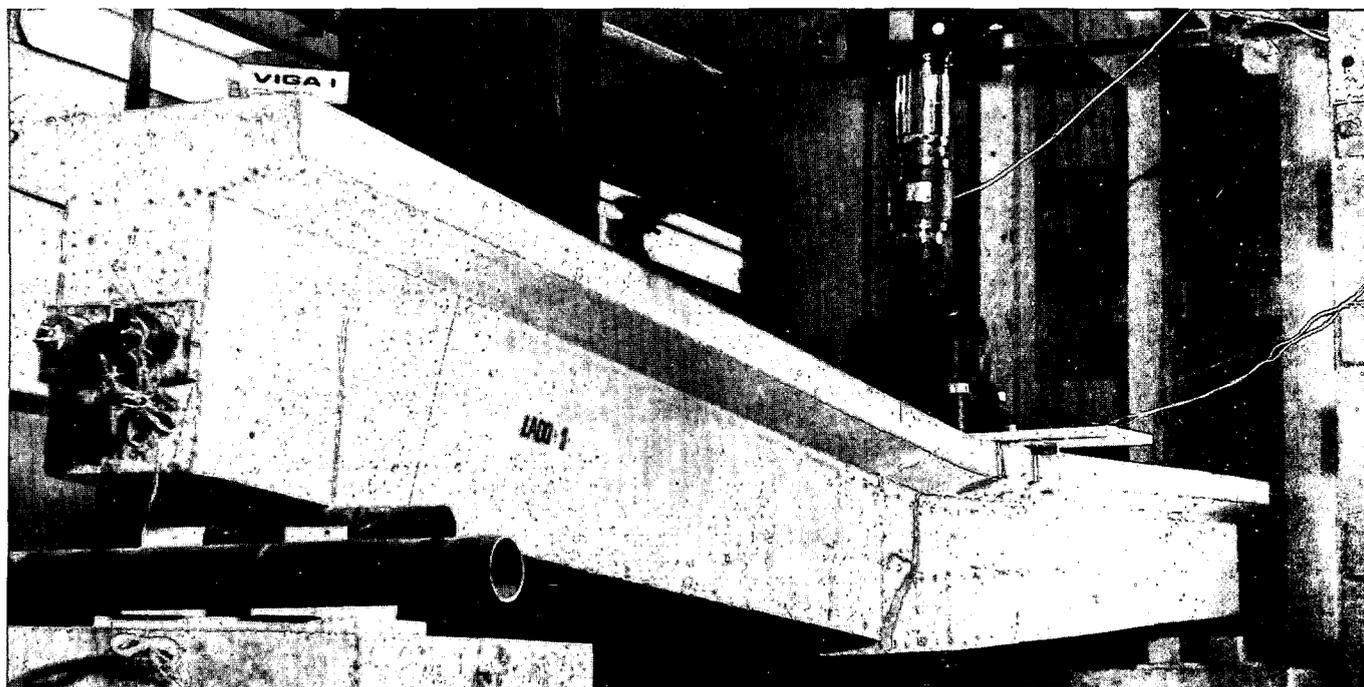
El seguro decenal es necesario, pero a todas luces insuficiente, pudiendo ser el equivalente el año de garantía de un coche o una lavadora que son bienes muebles, completamente distintos en su función al de una vivienda que en teoría deberá durar la vida media adulta de una persona, incluida su vejez, que es precisamente cuando menos gana y más vital le resulta para su supervivencia.

LA DURABILIDAD DE LA VIVIENDA EN ESPAÑA

El problema de la durabilidad de la vivienda en España es un problema grave por múltiples circunstancias.

En primer lugar somos un país con un ambiente agresivo. Los cuatro mil kilómetros de costa, en más de un 50% en clima cálido, la presencia de yesos y terrenos de bujeo, hacen que con frecuencia se puedan producir ambientes de

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo que podrán remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 31 de enero de 1992.



extrema agresividad a cimentaciones y a estructuras de hormigón y metálicas incluso antes de los 20 años, si es que en estos elementos no se han tenido en cuenta estas específicas circunstancias.

El hecho de que en la década de los años 60 se construyeran en España del orden de 3 millones de viviendas, que en la actualidad están llegando a tener entre 20 y 30 años pueden hacer que la casuística de posibles siniestros se llegue a multiplicar de forma considerable.

Esta hipótesis está corroborada por los estudios de la OCDE que estima que en estructuras de hormigón los costes de reparación de los años 70 se duplicarán en los 80 y triplicarán en los años 90.

Lo mismo sucedía en EE.UU. en los que la Federal Highway Administration pasó de gastarse en arreglar tableros de puentes de 70 millones de \$ en 1973 a 200 millones de \$ en 1975, siendo en la actualidad una de las principales actividades de la construcción la de reparación de éstas estructuras.

Lo mismo podemos decir de la rehabilitación de edificios que por ejemplo en Francia en 1990 supuso sobre la edificación total, un 46,6%, frente a la edificación residencial el 27,3% y la no residencial un 26%, cifras de las que estamos aún nosotros lejanos pues apenas alcanzamos el 20%, lo que tendrá que variar perentoriamente

sobre todo si hacen su aparición los problemas de durabilidad.

ASPECTOS TECNICOS DE LA DURABILIDAD

Vamos a considerar los fenómenos de durabilidad con relación a los dos tipos de estructuras características, las de hormigón armado y las estructuras metálicas.

Estructuras de Hormigón Armado

Con relación a las estructuras de hormigón armado los agentes agresivos se pueden clasificar en cinco grandes grupos de acuerdo con su forma de actuar que son:

- Acciones mecánicas.
- Acciones físicas.
- Acciones químicas.
- Acciones biológicas.
- Acciones de servicio.

Estos factores quedan resumidos en la tabla adjunta de la ASTM E 632 "Standard Recommended Practice for Developing Short-term Accelerated Test for Prediction of the Service Life of building Components and Materials" traducida

en la publicación del MOPU "Durabilidad del hormigón" a la que nos referiremos en repetidas ocasiones.

1. AGENTES ATMOSFERICOS

- Radiación: Solar
Nuclear
Térmica
 - Calor: Elevadas temperaturas
Bajas temperaturas
Ciclos
 - Agua: Sólida: hielo-nieve
Líquida: lluvia-condensación estancada
Vapor: humedad relativa elevada
 - Aire: Componentes normales
Gases: tales como óxidos de nitrógeno, de azufre, etc.
Nieblas: tales como aerosoles, sales, ácidos y álcalis.
Partículas sólidas: tales como arena, lodos y polvos.
- Congelación-Deshielo-Viento

2. FACTORES BIOLÓGICOS

- Micro-organismos
- Fungicidas
- Bacterias

3. FACTORES DE CARGA (SOLICITACIONES)

- Carga mantenida-periódica
- Acción física del agua (lluvia-granizo-agua-nieve-nive)
- Acción física del viento
- Acción física del agua + acción física del viento
- Movimientos debidos a otros factores, tales como instalaciones-vehículos

4. FACTORES INCOMPATIBLES

- Químicos
- Físicos

5. FACTORES DE SERVICIO

- Diseño
- Instalaciones y procedimientos de mantenimiento
- Desgaste
- Vandalismo

Con ser importantes las acciones mecánicas, físicas y biológicas, debido a que se suelen tener más en cuenta en los proyectos, son quizás otros

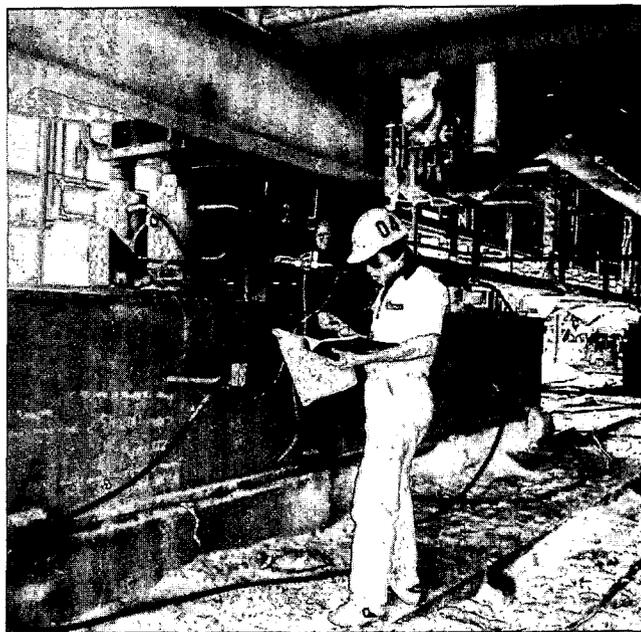
fenómenos como el de fisuración por retracción del hormigón y la agresividad química, los que suelen actuar con más impunidad sin ser considerados.

La fisuración por retracción es muy frecuente en las estructuras, fundamentalmente por defectos de curado, lo que hace que las estructuras de muchos edificios y obras públicas estén afectadas y expuestas, sobre todo en los ambientes más agresivos, a un ataque del hormigón armado permanente.

La presencia de aguas selenitosas en cimentaciones obligan a tenerlas en cuenta de acuerdo con las normas existentes. La posible variación de niveles freáticos y contenido de salinidad de las aguas como consecuencia del agotamiento de acuíferos y la contaminación de los mismos, hace que incluso donde los informes geotécnicos no hayan dado aguas excesivamente agresivas puedan llegar a serlo durante la vida de la estructura. El sulfato cálcico forma, como sabemos, sulfatoaluminato cálcico (sal de Candlot) fuertemente expansiva que destruye el hormigón.

DURABILIDAD DE LAS ARMADURAS

Sin embargo más que el propio hormigón, son las armaduras, que constituyen el elemento resistente a tracción, las que pueden requerir un mayor control de durabilidad.



Uno de los ataques químicos que actúa más enérgicamente sobre el acero del hormigón armado es el debido a la oxidación del mismo por pérdida de la pasividad, que el carácter alcalino del hormigón con un PH de 12,5 le proporciona, como consecuencia del fenómeno de carbonatación.

La porosidad del hormigón y su posible fisuración por retracción, permiten al CO_2 de la atmósfera carbonatar la cal libre del hormigón $\text{Ca}(\text{OH})_2$, transformándola en carbonato cálcico (CO_3, Ca) inerte, con lo que desciende el PH perdiendo el hormigón armado la pasividad protectora. Esto hace que sea atacado el acero según dos procesos, uno catódico, por el que se llega a formar herrumbre Fe_2O_3 , de un volumen 10 veces superior al del acero, con lo que se revienta la estructura.

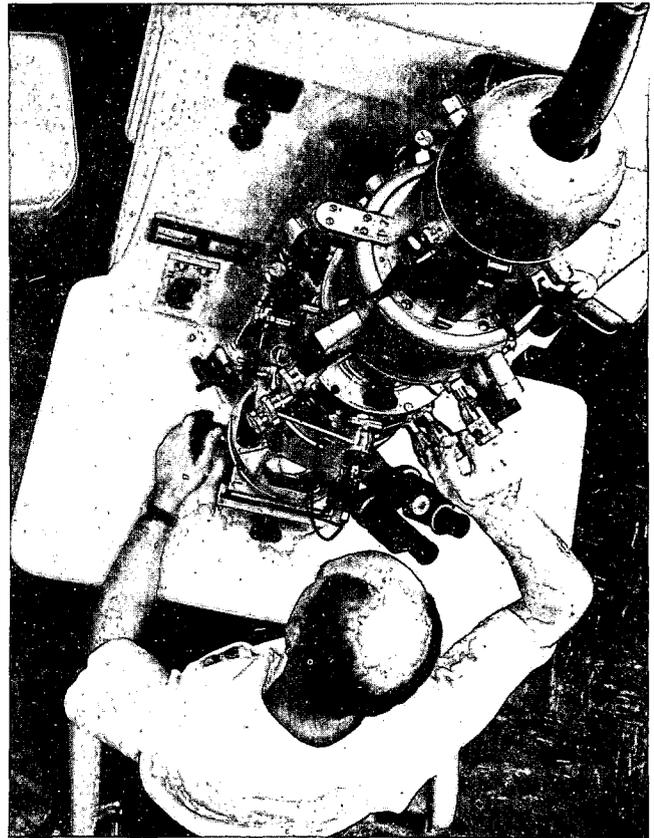
Otro agente de corrosión química importante es el del cloro, presente en la atmósfera cercana al mar, por efecto spray de las olas, el cual va penetrando en los poros del hormigón, circunstancia que se intensifica cuando el hormigón es más poroso y los recubrimientos, sobre todo en hormigones vistos, son escasos o disponen de entalladuras de fácil penetración. El cloro disuelve al hierro según el proceso anódico en una corrosión llamada "por picaduras" con las que llega a desaparecer.

Este tipo de ataques se produce fundamentalmente en ambiente húmedo, deteniéndose la carbonatación en la estructura sumergida, aunque los sulfatos puedan destruir el propio hormigón como antes hemos indicado (sál de Candlot).

Soluciones técnicas para aumentar la durabilidad del hormigón armado

Las soluciones técnicas para aumentar la durabilidad del hormigón armado ante los ataques químicos son conocidas y están indicadas en la instrucción EH.

Tratan de conseguir una mayor compacidad en el hormigón, reduciendo la relación agua/cemento, a base de aumentar la trabajabilidad con el empleo de aditivos y respetar los recubrimientos de hormigón para las armaduras, en ambientes agresivos, e incluso aumentar la compacidad a base de una mayor resistencia, utilizando cementos adecuados a cada ambiente y curando el hormigón profusamente para que la fisuración por retracción no llegue a producirse.



La durabilidad en las estructuras metálicas

Con respecto a la durabilidad de las estructuras metálicas el ataque se puede diferenciar según dos tipos. Ataque por corrosión química, producida por un medio ambiente similar a los que hemos comentado de oxidación para el acero del hormigón armado, que se desarrolla en la interfase entre el metal y el medio corrosivo, que se extiende en forma de óxido de hierro por toda la superficie atacada.

Corrosión electro-química que es consecuencia de la aparición de corrientes eléctricas entre dos zonas del metal que tienen potenciales diferentes, cuando se ponen en contacto a través del medio, sin la necesidad de que exista una fuente exterior que lo produzca. Los potenciales más negativos se producen en las regiones anódicas, similares al ataque por ion Cl^- en el caso del hormigón armado antes considerado. En este caso la reacción se produce y los productos resultantes se depositan fuera del ánodo con lo que no pueden oponerse a que continúe el ataque. Se desarrolla de forma puntual, como ya hemos indicado en el caso del hormigón.

El ataque puede resultar muy intenso si la estructura no está protegida como puede verse en la Figura 2 que adjuntamos tomada del Curso de Rehabilitación del Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid.

ATMOSFERA URBANA E INDUSTRIAL SEVERA

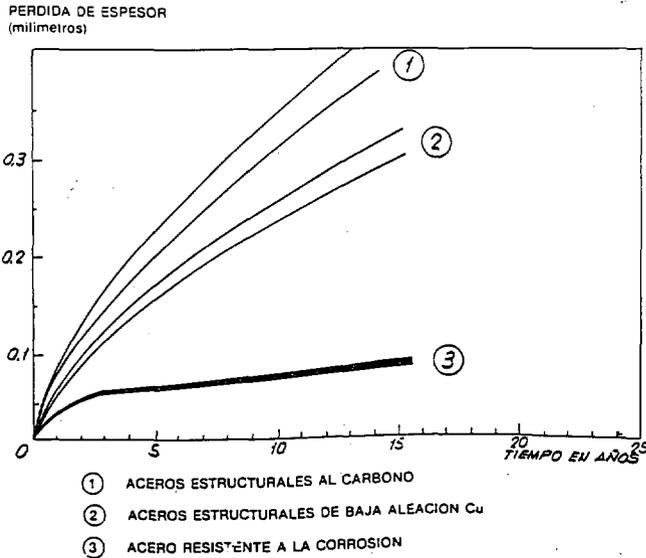


Figura 2

Soluciones técnicas para aumentar la durabilidad de las estructuras metálicas

Como es normal la protección se realizará mediante pintura, que deberá aplicarse con diferentes tratamientos a pesar de los cuales hay que repintar y mantener, dándoles una vida media de 10 a 15 años.

Para la realización de un mantenimiento adecuado deberá considerarse en el proyecto la posibilidad de acceso a las uniones a conservar y detallar su situación en el Manual del Usuario, cosas que hasta la fecha no se hacen.

A continuación transcribimos las recomendaciones indicadas en el Curso de Rehabilitación antes descrito que como puede verse son muy precisas:

A. Ambiente agresivo.

— Estructuras a la intemperie al borde del mar o en su zona de influencia, o en zonas industriales de gran humedad.

— Elementos estructurales en puntos de alta condensación, mal ventilados, no accesibles y/o

con peligro de estar en contacto con humedades, aunque la estructura esté en un ambiente no agresivo.

— Preparación de la superficie a pintar con chorro de arena hasta grado Sa. 2^{1/2} de las normas suecas SIS 055900. O a "casi metal blanco" de las especificaciones americanas de la "Steel Structures Painting Council".

— Imprimación epoxi rica en zinc, con un espesor de 22 μ de la capa de película seca (una o dos manos).

— Capa gruesa intermedia epoxi con un espesor de película seca de 75 μ .

— Esmalte epoxi en acabado de 35 μ de espesor.

Obsérvese que mediante esta formulación se combate en dos frentes al mismo tiempo. La resina epoxi se adhiere perfectamente sobre la superficie de acero preparada al chorro de arena (grado Sa 2^{1/2}), proporcionando un "efecto barrera" muy eficaz a la que por sus características, el repintado posterior liga perfectamente. El zinc incluido en las capas de imprimación proporciona al acero una protección activa como es la protección catódica, pues el zinc, en contacto con el acero forma un par eléctrico que hace que en presencia de oxígeno (y agua) se oxide el zinc y no el hierro. Obviamente la eficacia de esta protección acaba con la oxidación de todo el zinc, por lo que se debe confiar la protección al efecto barrera y dejar que la protección catódica alargue la vida útil de la protección en las zonas donde haya fallado el efecto barrera.

La elección de una o dos capas de imprimación será función de la importancia de la agresividad del ambiente. Como la efectividad de este tratamiento depende de la existencia de contacto entre hierro y zinc, es necesario que la preparación de las superficies no debe tener una calidad inferior al grado Sa 2^{1/2}. (Tratamiento con chorro de arena).

B. Ambiente medianamente agresivo

— Estructuras de edificios en ciudades de atmósfera húmeda.

— Estructuras en zonas industriales de industria media.

— Elementos estructurales o puntos localizados de la estructura no accesibles o con peligro de condensaciones, cuando la zona donde se

ubica el edificio es muy benigna desde el punto de vista de ataque de la corrosión.

— Preparación de la superficie a pintar con cepillo hasta grado St-3 o con chorro de arena hasta grado Sa 2.

— Imprimación con clorocaucho en diversas variantes con un espesor de la capa de pintura seca de 30-35 μ .

— Capa gruesa intermedia de clorocaucho con un espesor de la capa de pintura seca de 40 μ .

— Capa de acabado de clorocaucho con un espesor de la capa de pintura seca de 30-35 μ .

O también, sobre la misma preparación, la formulación de tipo alcídica siguiente:

— Imprimación anticorrosiva sintética de cromato o de zinc amarillo de un espesor de 35 μ de película seca.

— Capa gruesa gris intermedia 60-70 μ .

— Esmalte sintético brillante de acabado 30-35 μ .

C. Ambientes neutros.

— Construcciones rurales.

— Construcciones urbanas en la meseta.

— Elementos estructurales netos protegidos con fábrica de ladrillo, etc.

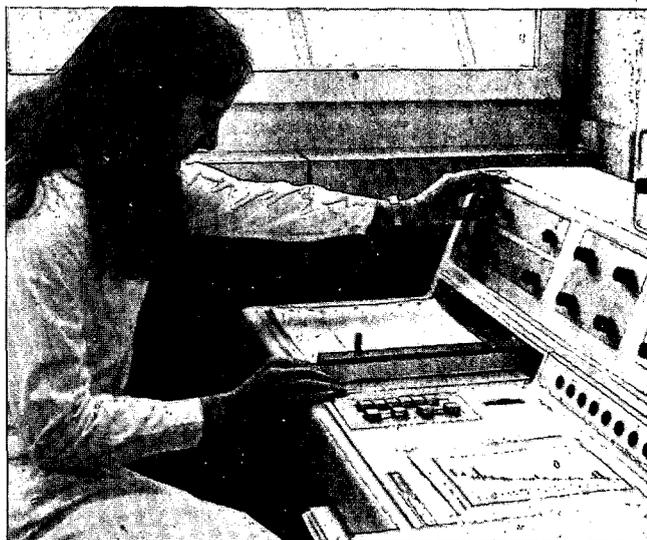
— Preparación de la superficie a pintar con cepillo hasta grado St-2.

— Imprimación antioxidante de óxido de hierro o de minio de plomo electrolítico al aceite (35 μ).

— Dos manos de acabado con esmalte sintético o de aluminio (35 μ cada capa).

UNA SOLUCION UTIL PARA EL FUTURO DE LA CONSTRUCCION

La durabilidad de los materiales y de las estructuras es función de las características del medio ambiente donde se van a construir, es decir si por ejemplo se construye en Alemania deberán tenerse muy en cuenta aspectos como el de la heladicidad de los exteriores, donde los 25 ciclos de hielo-deshielo, que normalmente se exigen en los ensayos, pueden alcanzarse en uno o dos años, mientras que en zonas como Málaga nunca.



Sin embargo aspectos como el de la carbonatación del hormigón y el ataque por cloruros pueden ser muy intensos en el sur de España y muy poco en el centro de nuestra meseta o de Alemania.

Por tanto parece lógico que los diferentes aspectos que contemplen una mayor durabilidad deberán considerarse de acuerdo con la ubicación y características de la obra, debiendo por tanto formar parte del proyecto, del Pliego de Condiciones Particulares y de los planos.

La duración para la que se estima como garantía de cada una de sus partes deberá ser objeto de un análisis y de exigencias, y establecer unos límites mínimos por parte de la Legislación, lo que en consecuencia definirá las características de durabilidad de la obra y también las del mantenimiento de la misma, que deberán quedar reflejadas en el Manual de Uso, que se adjuntará a la entrega de la obra.

Sobre la duración de la obra deberán establecerse criterios para cada una de sus partes de acuerdo con la agresividad existente y según el tipo de construcción, para que esta no resulte excesivamente costosa.

Así como ejemplo establecemos las siguientes para la edificación:

Estructura de hormigón	entre	40 y 50 años
Estructura metálica	entre	30 y 40 años
Cerramientos	entre	30 y 40 años
Albañilería	entre	20 y 30 años
Impermeabilización y cubierta	entre	10 y 20 años

Todas ellas respetando y realizando escrupulosamente las operaciones precisas de mantenimiento.

El seguro correspondiente a estos elementos puede establecerse con unas primas anuales relativamente bajas a abonar por el propietario, una vez cumplido el seguro decenal. La fijación de la prima podría tener en cuenta, además de los datos estadísticos la zona, la calidad de la obra en su realización y estar, a su vez, condicionada a su posterior mantenimiento.

Lo que hemos indicado para la edificación puede extenderse a la Obra Pública, que ya ha tomado conciencia de la importancia del hecho, de forma general, a partir del I Simposio Nacio-

nal sobre Conservación, Rehabilitación y Gestión de Puentes celebrado recientemente.

En la actualidad se están desarrollando tecnologías no destructivas que pueden determinar el estado de las armaduras del hormigón armado, complementarias a las antiguas como el Pachómetro.

En este sentido y dentro del programa BRITE de I + D GEOCISA ha desarrollado un aspecto capaz de detectar con fiabilidad estos estados sin destruir la muestra.

Diferentes empresas han puesto a punto diversas tecnologías para la realización de reparaciones utilizando sobre todo resinas epoxi.

