

INDICE	
APARTADO 1. DAÑOS POSIBLES EN LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGON	
1.1 Daños por ataques de agentes exteriores	6/103
1.1.1 Ataque físico	7/103
DAÑO: Erosión	
DAÑO: Acción de la helada	
1.1.2 Ataque químico	11/103
DAÑO: Ácidos	
DAÑO: Sulfatos	
DAÑO: Reacción de los álcalis	
DAÑO: Otros componentes agresivos	
1.1.3 Corrosión en las armaduras	20/103
DAÑO: Carbonatación	
DAÑO: Presencia de cloruros	
1.2 Daños intrínsecos del propio hormigón	26/103
1.2.1 Daños no estructurales	27/103
DAÑO: Asiento plástico	
DAÑO: Retracción plástica	
DAÑO: Contracción térmica inicial	
DAÑO: Retracción hidráulica	
1.2.2 Daños estructurales (acciones mecánicas)	36/103
DAÑO: Compresión	
DAÑO: Tracción	
DAÑO: Flexión	
DAÑO: Cortante	
DAÑO: Torsión	

DAÑO: Rasante	
DAÑO: Punzonamiento	
1.3 Daños causados por acciones extraordinarias	51/103
1.3.1 Fuego	52/103
1.3.2 Sismo	55/103
1.3.3 Impactos	57/103
1.3.4 Empuje del terreno	59/103
1.3.5 Asientos del terreno	61/103
1.3.6 Suelos expansivos	63/103
1.3.7 Otras situaciones capaces de producir daños	65/103
DAÑO: Ausencia de mantenimiento	
DAÑO: Meteorización y cambio de color	
DAÑO: Deformaciones excesivas: flechas	
DAÑO: Degradación del hormigón de cementos aluminosos	
DAÑO: Otros fenómenos	
APARTADO 2. DISEÑO Y EJECUCION DEL HORMIGÓN ARMADO. RECOMENDACIONES Y NORMATIVA VIGENTE	
2.1 Factores a considerar del hormigón armado	72/103
2.1.1 Establecimiento de las condiciones de durabilidad	72/103
ASPECTO: Determinación de la agresividad ambiental	
ASPECTO: Selección de las adecuadas formas estructurales	
ASPECTO: Recubrimientos	
ASPECTO: Separadores	
ASPECTO: Requisitos de dosificación	
2.1.2 Elección de los Materiales	79/103
MATERIAL: Cementos	
MATERIAL: Agua	

MATERIAL: Áridos	
MATERIAL: Aditivos	
MATERIAL: Adiciones	
MATERIAL: Armaduras de acero	
2.1.3 Ejecución del hormigón armado	87/103
ETAPA: Encofrados	
ETAPA: Elaboración de la ferralla y colocación de las armaduras	
ETAPA: Fabricación y transporte a obra del hormigón	
ETAPA: Puesta en obra del hormigón: colocación y compactación	
ETAPA: Puesta en obra del hormigón: juntas de hormigonado	
ETAPA: Puesta en obra del hormigón: hormigonado en tiempo frío y caluroso	
ETAPA: Curado	
ETAPA: Desencofrado	

APARTADO 1. DAÑOS POSIBLES EN LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGON

INTRODUCCION:

En la actualidad el empleo del hormigón en las estructuras ha superado con creces el uso de otros materiales como el acero, la madera o la piedra. Esto se debe a su bajo coste económico y a su facilidad para moldearlo que permite obtener formas muy diversas e impensables con otros materiales. Sin embargo, el hormigón armado tiene en su contra que está compuesto por dos materiales muy distintos que si bien se compenetran de manera muy efectiva, no deja de ser una dificultad a la hora de la ejecución.

Por este motivo no debe considerarse al hormigón armado como un material homogéneo, compacto e inerte con el medio que lo rodea, ya que en realidad se trata de un sistema heterogéneo formado por diferentes componentes (cemento, agua, áridos, aditivos, acero, etc.), con porosidad y que está rodeado de un medio capaz de reaccionar con algunos de sus componentes; además de tener que soportar a lo largo de toda su vida un conjunto de esfuerzos y sollicitaciones. Por tanto, si a lo largo de todas las etapas que forman la vida de cualquier estructura de hormigón armado (diseño, elección de materiales, ejecución, utilización) no se ha tenido en cuenta esta consideración, la durabilidad de dicha estructura se verá mermada por el más que probable ataque de sustancias agresivas, o simplemente por no ser capaz de aguantar aquello para lo que se diseñó. Las situaciones capaces de provocar daños o patologías en el hormigón armado quedan recogidas en este apartado, se distinguen las siguientes:

- Daños por agentes exteriores.
 - Ataque físico: erosión y heladas.
 - Ataque químico: ácidos, sulfatos, reacción de los álcalis, etc.
 - Corrosión de las armaduras: carbonatación y ataque de los cloruros.
- Daños intrínsecos del propio hormigón.
 - No estructurales: asentos plásticos, retracciones, contracciones, etc.
 - Estructurales: compresión, tracción, flexión, cortante, rasante, torsión, punzonamiento.
- Daños causados por acciones extraordinarias.
 - Fuego.
 - Sismo.
 - Impactos.
 - Suelos expansivos.
 - Asientos del terreno.
 - Empujes del terreno.
 - Otras situaciones.

1.1 Daños por ataques de agentes exteriores	1.1.1
1.1.1 Ataque físico	
DESCRIPCION: El hormigón armado que sufra acciones de tipo físico estará sometido a un desgaste superficial que puede llegar a provocar una disgregación o pérdida de integridad. Este fenómeno se manifiesta de dos formas: - Erosión, ya sea por abrasión por el paso continuo de vehículos o personas sobre una superficie; o por cavitación que se produce por el paso del agua a gran velocidad como sucede en obras hidráulicas. - Acción del hielo y deshielo, que suelen sufrir hormigones situados a la intemperie o que oscilan por encima y por debajo de los cero grados. Para evitar los efectos de este ataque resulta fundamental que en la etapa de diseño se conozcan las condiciones, tanto de servicio como ambientales, a las que va a estar sometido el hormigón. Ya que dependiendo de ellas habrá que elegir el tipo de cemento, áridos, granulometría, relación A/C, grado de consolidación, curado y protección que tendrá el hormigón. Pero lamentablemente, bien por descuido bien por ignorancia, el hormigón que se hace no es el idóneo para el medio donde va a desarrollar su función estando por tanto mermado desde su nacimiento.	
LUGARES CON RIESGO: - Pavimentos con una frecuencia elevada de paso de vehículos. - Pavimentos industriales. - Pavimentos de zonas peatonales con mucho tránsito. - Canales que transporten agua a gran velocidad. - Estructuras marinas en contacto con fuerte oleaje. - Presas.	

1.1.1 Ataque físico	
DAÑO: Erosión	
DESCRIPCION: La erosión del hormigón se manifiesta de dos maneras: abrasión y cavitación. Ambas son típicas de las obras hidráulicas en las que el agua a gran velocidad provoca un desgaste superficial de la estructura; aunque la abrasión también aparece en pavimentos que sufren un paso continuo de vehículos.	
1. Erosión por abrasión	
DESCRIPCION: Es el desgaste de una superficie producido por fricción o frotamiento causado por fenómenos como paso de vehículos o de tráfico peatonal sobre pavimentos, o el impacto o deslizamiento de materiales procedentes de desprendimientos. Este desgaste también puede producirse por la acción de partículas pesadas en el agua que circula a gran velocidad como es el caso de pilas de puentes, embalses, diques, y otras obras hidráulicas, etc.	
TIPOS: - Abrasión por sólidos: Es la abrasión que se produce diferentes tipos de sólidos rozan la superficie de hormigón. Cuando la abrasión se produce por la percusión de pequeñas partículas sólidas la adherencia entre la pasta y el árido cobra una gran importancia, pero si la abrasión se produce por rozamiento tiene una mayor importancia la resistencia al desgaste de los áridos que la propia resistencia a compresión del hormigón. - Abrasión por la acción del agua a gran velocidad: Es la abrasión que sufre el hormigón cuando el agua se desplaza a gran velocidad transportando partículas en suspensión. El efecto erosionante que sufre el hormigón se produce por el continuo choque del agua contra su superficie desgastando primero la pasta de cemento para pasar después al árido fino haciéndolo saltar y acabar finalmente con el árido grueso provocando la formación de huecos en el hormigón. El mayor o menor efecto de este tipo de abrasión depende de la resistencia a compresión del hormigón, el tipo de árido empleado, de la velocidad del agua, y de la cantidad y naturaleza de las partículas que lleve; así como los métodos de acabado y curado, además de la existencia de un buen recubrimiento.	
RECOMENDACIONES: - Áridos de gran tamaño, dado que tienen mayor resistencia que la pasta de cemento. - Árido fino de gran dureza, a ser posible de cuarzo. - Cemento de elevada resistencia (baja relación A/C). - Uso de morteros especiales en las capas superficiales (con áridos de corindón o bauxita). - Empleo de soluciones patentadas con acabado químico; y consolidación y alisado con “helicóptero”. - Uso de resinas sintéticas si el pavimento es agresivo químicamente. - Empleo de hormigones con resistencia superior o igual a 30 Mpa.	

1.1.1 Ataque físico

DAÑO: Erosión



2. Erosión por cavitación

DESCRIPCION: Este tipo de erosión se produce en la estructuras de hormigón armado destinadas a estar en contacto con corrientes de agua, cuya forma no esta correctamente estudiada. Cuando el paso del agua encuentra algún cambio de geometría mal diseñado puede provocar que el flujo de agua se separe de las paredes del conducto de hormigón, creando en estos sitios zonas de baja presión. Si la presión estática de la corriente de agua llega a ser menor que la presión de vapor, se forman burbujas de vapor de agua en estas zonas. Si dichas burbujas fluyen hacia zonas en donde la presión estática de la corriente supera a la presión de vapor de agua, el vapor de las burbujas se condensa y estas estallan con brusquedad. Esta situación unida a la presión existente genera ondas expansivas, similares a las explosiones, que provocan picaduras y roturas superficiales de cierta amplitud.

RECOMENDACIONES:

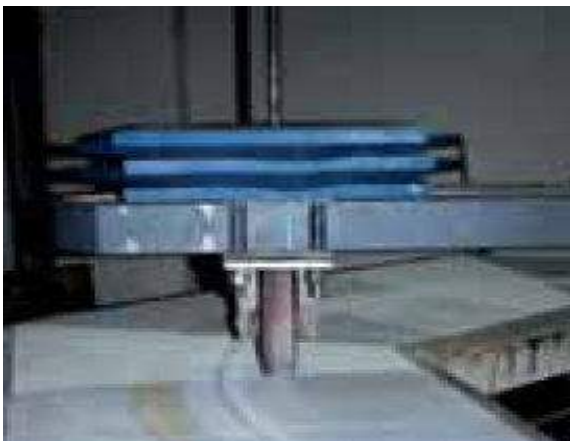
- Empleo de hormigones de áridos de tamaño máximo bajo, y con un acabado superficial bueno ya que el encargado de resistir esta erosión es la pasta de cemento.
- Garantizar un correcto diseño, evitando la disposición ortogonal de las paredes del cauce.

CROQUIS:

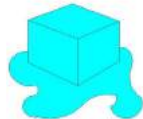


El continuo paso de vehículos o peatones sobre un pavimento de hormigón armado provoca su disgregación, dejando los áridos al aire y pudiendo llegar a dejar a la intemperie a la armadura con el riesgo de ataque que conlleva.

FOTOGRAFIA:

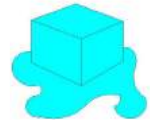


En el diseño de un pavimento se debe hacer especial hincapié en la resistencia a los impactos y a la abrasión. A menudo los mayores desgastes ocurren en zonas bien localizadas (zonas de carga-descarga, áreas de proceso en industrias pesadas, etc.) lo que implica tratamientos específicos. En la imagen se observa el ensayo a abrasión de un pavimento de hormigón.

1.1.1 Ataque físico		
DAÑO: Acción del hielo–deshielo		
DESCRIPCION: Este fenómeno es típico en hormigones situados a la intemperie en climas donde las temperaturas descienden con frecuencia por debajo de los cero grados, y se basa en la congelación y posterior descongelación del agua absorbida por el hormigón dentro de sus poros abiertos. El mecanismo de deterioro es el siguiente: el agua al helarse sufre un aumento de volumen del 9%, si esta se encuentra ocupando parcialmente los poros del hormigón y el espacio libre ocupado por el aire es igual o superior a ese porcentaje al producirse la helada habrá espacio libre suficiente para absorber la expansión, y por tanto no se producirán tensiones en el hormigón que puedan dañarlo. Pero si el grado de saturación es superior al crítico, del 91%, el espacio libre será reducido y la expansión del agua se encontrará impedida provocando unas tensiones en el hormigón que podrían llevarlo a su agotamiento, provocando la disgregación superficial. Pero lo que es realmente peligroso para el hormigón es la repetición del fenómeno: la saturación del hormigón con temperaturas frías que provocan la helada del agua, seguidas del ascenso de temperaturas que ocasionan la descongelación del agua, la repetición de este ciclo se conoce como ciclo hielo–deshielo. Aunque para que la acción de dichos ciclos cause verdaderos estragos es necesario que la porosidad del hormigón este prácticamente saturado de agua, hecho que no es común en estructuras de edificación pero no así en puentes, canales o presas. Un concepto que hay que tambien tener en consideración es que la congelación del agua en el interior del hormigón no siempre se produce a la misma temperatura que si el agua estuviera en un espacio abierto, ya que depende de factores como el diámetro de los poros, la presión capilar o la existencia de sales disueltas procedentes del propio hormigón. En ocasiones la temperatura de congelación puede llegar a bajar de los -10°C, sobre todo si los poros son de diámetro reducido.		
RECOMENDACIONES Y FACTORES A CONSIDERAR: • Diseñar las estructuras evitando que queden expuestas a la acción directa del agua, recurriendo al empleo de pendientes adecuadas que eviten su acumulación y por tanto, la saturación del hormigón. • Empleo de materiales resistentes a la helada • Relaciones de agua–cemento bajas. • Empleo de aditivos aireantes que creen pequeñas burbujas de aire ocluido que interrumpen los poros capilares pasando a actuar como poros cerrados, limitando el posible efecto de una helada. El espaciamiento de estas burbujas creadas no debe superar unos valores máximos a fin de garantizar el funcionamiento del sistema, ya que en el deshielo el vaciado de los poros no se produce de forma completa causando su llenado acumulativo en heladas sucesivas. Transformándose el peligro de los ciclos mayor que el de las heladas individuales. • Compactación y curado adecuados que reduzcan la porosidad del hormigón. • Considerar la edad del hormigón. Generalmente mayor edad significa mayor resistencia a la helada		

1.1.1 Ataque físico

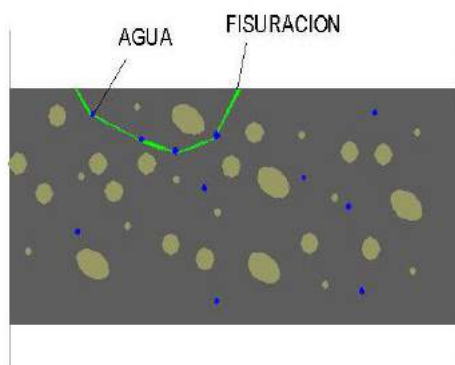
DAÑO: Acción del hielo-deshielo



PRECAUCIONES:

Se debe prestar especial importancia al empleo de productos de deshielo sobre superficies de hormigón destinadas al tráfico de vehículos en zonas de riesgo de heladas. Basándose en el principio general de que una solución salina tiene un punto de congelación más bajo que el agua es habitual el empleo de productos como la sal común para evitar la formación de hielo en estas calzadas. Pero el uso de estas sales provoca un descenso de la temperatura del hormigón superficial debido al calor latente de fusión del agua. La diferencia de temperatura entre la superficie y el interior genera tensiones internas que pueden provocar la fisuración del hormigón superficial; por otra parte, al existir una mayor concentración de sales en la superficie que en las capas próximas a ella el agua absorbida en los poros se hiela mas fácilmente en el interior que en el exterior, aumentando además en el caso del uso sal común el riesgo de corrosión de las armaduras por la presencia de cloruros. Por tanto el empleo de sales empeora más el problema que sin la acción de las citadas sales.

CROQUIS:



Explicación del proceso:

Antes de la helada tanto la red de poros como los áridos del hormigón absorben agua. Pero una vez que se llega a la saturación, el hormigón no admite mas agua; y tampoco es capaz de asumir el aumento de volumen que sufre el agua al pasar del estado líquido al sólido en la congelación. Esto provoca fisuraciones y roturas locales en las zonas superficiales.

FOTOGRAFIA:



La imagen muestra el forjado de un parking que ha sufrido la acción continua de los ciclos de hielo-deshielo provocando la disgregación de la pasta de cemento. En este momento sería interesante plantearse la aplicación de algún sistema de protección (ver Cáp. II) para evitar que la situación fuera a mayores.

1.1 Daños por ataques de agentes exteriores

1.1.2

1.1.2 Ataque químico

DESCRIPCION: El ataque por agentes químicos al hormigón es el que mayores daños ocasionan en las estructuras, y también el que presenta mayores dificultades a la hora de solucionarlo. Generalmente el ataque lo sufren los áridos y sobre todo el cemento, de ahí la importancia de su elección en función del ambiente al que va estar sometido. Para que se produzca cualquier ataque químico resulta fundamental la presencia de agua, ya sea en forma líquida o en gaseosa, porque es la encargada de la disolución de los componentes agresivos. Esto es cierto hasta tal punto que un hormigón seco en contacto con cualquier agente agresivo no presenta ningún riesgo práctico. Otra de las condiciones para que se produzca este tipo de ataques es que la sustancia agresiva sea transportada hasta tomar contacto con la sustancia con la que tiene que reaccionar, de forma que sino hay transporte no hay reacción. Este contacto se puede interrumpir en mayor o menor medida por la creación de sustancias pasivantes formadas en la reacción.

La procedencia de las distintas sustancias que atacan al hormigón es principalmente del exterior del mismo, atacando de fuera a dentro, como sucede en terrenos que atacan cimentaciones, líquidos agresivos que atacan las tuberías o ambientes industriales que afectan a estructuras o pavimentos. Mientras que del interior del propio hormigón destaca la reacción que se produce entre los álcalis del cemento y la sílice de ciertos áridos reactivos.

TIPOS:

- Ataque por ácidos que reaccionan con el cemento endurecido.
- Ataque por sulfatos que reaccionan con los aluminatos del hormigón.
- Reacción álcali-sílice de los áridos reactivos.

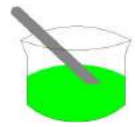
SUSTANCIAS AGRESIVAS:

EFECTOS DE SUSTANCIAS AGRESIVAS COMUNES EN EL HORMIGON					
VELOCIDAD DE ATAQUE A TEMPERATURA AMBIENTE	ACIDOS INORGANICOS	ACIDOS ORGANICOS	SOLUCIONES ALCALINAS	SOLUCIONES SALINAS	VARIOS
Rápida	Clorhídrico, Fluorhídrico, Nítrico y Sulfúrico	Acético, Fórmico y Láctico		Cloruro de aluminio	
Moderada	Fosfórico	Titánico	Hidróxido de sodio 20%	Nitrato y Sulfato de amonio; y Sulfato de sodio, magnesio o calcio	Bromo(gas) y Sulfito (líquido)
Lenta	Carbónico		Hidróxido de sodio (10-20%) e Hipoclorito de sodio	Cloruro de amonio, magnesio o sodio	Cloro (gas), agua de mar y agua dulce
Despreciable		Oxálico y Tartárico	Hidróxido de sodio (10-20%), Hipoclorito de sodio de amonio	Cloruro de calcio o sodio, Nitrato de Zinc y Cromato de sodio	Amoniaco (líquido)

1.1.2 Ataque químico		
DAÑO: Ataque por ácidos		
DESCRIPCION: La acción de los ácidos sobre el hormigón endurecido consiste en la transformación de los compuestos cálcicos (hidróxido cálcico, silicato calcico hidratado y aluminato calcico hidratado) en sales cálcicas que disgregan el hormigón. Debido al marcado carácter alcalino de la pasta de cemento, causado por hidróxido calcico procedente de la hidratación de los silicatos, los distintos tipos de ácidos atacan generando las mencionadas sales calcicas. Estas sales generalmente son solubles y su eliminación provoca el aumento de la porosidad del hormigón dejando una mayor superficie expuesta al ataque. La velocidad de ataque de los ácidos en el hormigón depende del Ph que posean (se consideran altamente agresivos cuando son menores de 4'5) y de la solubilidad de la sal cálcica que resulta, cuanto menos solubles sean las sales más fuertes será el efecto pasivante de las sales precipitadas. Si por el contrario la sal cálcica es soluble la velocidad de reacción será mayor si la solución fluye que si está estancada.		
TIPOS: Según la naturaleza de los ácidos distinguimos: • Ácidos inorgánicos: destacan por su peligrosidad el sulfúrico y el sulfuroso que dan lugar a sulfato calcico y por tanto etringita. Tambien son ácidos nocivos el clorhídrico, el nítrico, el sulfhídrico o el carbónico que reaccionan dando sales solubles que se eliminan por lixiviación. Y no tan nocivos son el fosfórico que reacciona con el hidróxido calcico dando lugar a una capa de fosfato insoluble que protege al hormigón frente a otros ataques, y el fluorhídrico que da una sal insoluble que actúa cerrando los poros. Otros ácidos menos frecuentes son el brómico y el crómico. • Ácidos orgánicos: destacan por su agresividad el acético que se encuentra en vinos y vinagres; y el láctico, muy común de residuos de las industrias lácticas y que forma lactatos solubles. Por el contrario no son tan nocivos el tánico; el oxálico que protege al hormigón cerrando sus poros por lo que se usa como protector superficial; y el húmico que es típico de aguas pantanosas y es dañino en el fraguado del hormigón si se emplean aguas que lo contengan.		
LUGARES CON RIESGO DE ATAQUE: • Áreas destinadas al paso de vehículos con motores de combustión, que producen acumulación de gases sulfurosos, procedentes de los combustibles, que reaccionan con la humedad dando lugar a ácidos sulfúricos. • Áreas industriales con ambientes que tengan acumulación de ácidos. • Aguas que contienen acumulaciones de ácidos como las industriales, las de las algunas minas o las aguas residuales. • Suelos potencialmente peligrosos por contener pirita (sulfuro de hierro) que al oxidarse dan ácidos sulfúricos que pueden llegar a reaccionar produciendo un ataque por sulfatos. • Corrientes de agua de algunas zonas montañosas que pueden ser algo ácidas		

1.1.2 Ataque químico

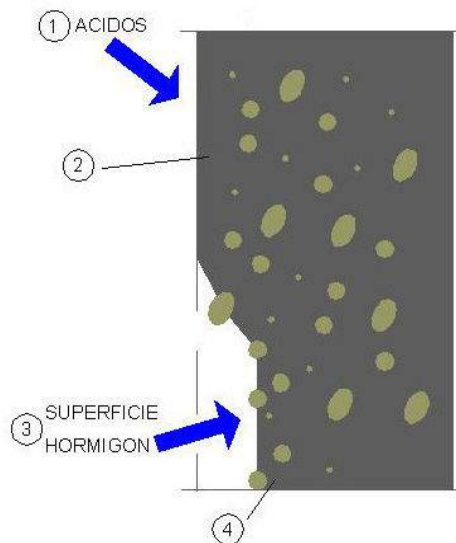
DAÑO: Ataque por ácidos



RECOMENDACIONES:

- Evitar hormigones porosos y permeables mediante:
 1. Relación agua–cemento baja (sin afectar la trabajabilidad de la mezcla y la hidratación del cemento).
 2. Alto contenido en cemento.
 3. Compactación y curado adecuado.
- Empleo de cementos compuestos o con adiciones si el hormigón va a estar en un ambiente que disuelva los productos cálcicos.
- Empleo de revestimientos especiales que hagan el hormigón más duradero.
- Evitar el empleo de áridos contaminados, como piritas, que reaccionan con el agua de los poros del hormigón formando sulfatos de hierro. Estos reaccionan provocando expansiones.
- Controlar la puesta en obra: adecuada compactación y curado; garantizando los recubrimientos.

CROQUIS:



Explicación del proceso:

1. Los ácidos procedentes del ambiente entran en contacto con la superficie del hormigón.
2. Conversión, capa a capa, de los compuestos cálcicos del cemento endurecido dando lugar a las sales cálcicas. de modo que se destruye la estructura porosa.
3. Remoción de los productos derivados de la reacción por disolución o abrasión.
4. Convertida una capa, sino se elimina resulta más permeable que el hormigón sano.

FOTOGRAFIA:



Ejemplo de la desagregación que ha sufrido un pilar de hormigón armado. La causa en este caso al no encontrarse en un ambiente muy agresivo puede deberse a la utilización de áridos contaminados. Estos al reaccionar con el agua acumulada en los poros del hormigón han provocado esta situación. Si no se adoptan medidas, el hormigón tendrá cada menor resistencia pudiendo llegar al colapso.

1.1.2 Ataque químico	
DAÑO: Ataque por sulfatos	
DESCRIPCION: El ataque por sulfatos es el ataque más perjudicial de los diferentes ataques que pueden desarrollar los aniones que componen las sales. Los sulfatos centran su ataque en el cemento creando unos componentes fuertemente expansivos que provocan la destrucción del hormigón. El mecanismo de actuación es el siguiente: los iones sulfato reaccionan con el aluminato tricálcico (C₃ A) del cemento en presencia de agua dando sulfoaluminato tricálcico, mas comúnmente conocido por etringita, y en menor medida yeso. La etringita presenta la particularidad que su volumen es un 250% superior al aluminato origen, dando lugar a una fuerte expansión que disgrega el hormigón por la mencionada destrucción del cemento que deja suelto el árido. Esto provoca una fisuración irregular que permite el acceso de los sulfatos y de ataques posteriores. La degradación del hormigón comienza en la superficie con un cambio de coloración seguido de la aparición de fisuras entrecruzadas cuyo espesor aumenta a la vez que el hormigón superficial sufre una delaminación con curvado de las capas más externas debido a las tensiones que producen la expansión de los productos producidos.	
FACTORES A CONSIDERAR: • Las condiciones de exposición o cantidad de sustancia agresiva; haciendo especial hincapié en que las condiciones de exposición pueden verse modificadas por la presencia de otros elementos a parte de los sulfatos. Por ejemplo el agua marina que se podría clasificar como altamente agresiva por su alto contenido en sulfatos, es solo moderadamente agresiva por la influencia atenuante de los iones cloro que reaccionan formando cloro-aluminato que no permite una expansión nociva. • La accesibilidad o permeabilidad del hormigón, que se determinará en función de los valores limite de penetración de agua durante un tiempo definido. • El tipo de cemento (cantidad de sustancia reactiva). • La cantidad de agua disponible y contenido de sulfatos del agua. Por otra parte, al igual que sucedía con las sales calcicas, el que el agua este estancada o en movimiento tiene mucha importancia ya que el poder de lavado del cemento es mayor en el segundo caso. • La temperatura. La formación de etringita disminuye desde un valor máximo hasta cero en el intervalo de 0°C a 80°C. Por tanto el ataque del hormigón por sulfatos no se acelera por la existencia de altas temperaturas, como erróneamente se cree.	
LUGARES CON RIESGO DE ATAQUE: • Terrenos o aguas subterráneas que pueden estar en contacto con cimentaciones. • Líquidos transportados por una tubería, canal o presa de hormigón. • Agua de amasado o curado del hormigón. • Productos de silos o depósitos de hormigón. • Ambientes industriales que favorecen la oxidación del SO₂ en la atmósfera. • Aguas de suelos que han sido rellenados con escorias o cenizas de altos hornos. • Aguas residuales con alto contenido de sulfatos y sulfitos.	

1.1.2 Ataque químico

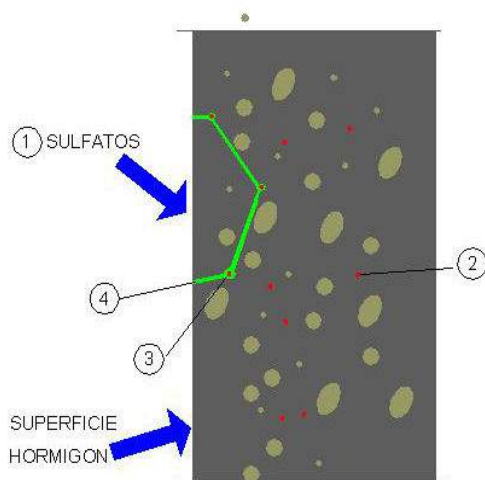


DAÑO: Ataque por sulfatos

RECOMENDACIONES:

- Evitar hormigones porosos y permeables mediante:
 1. Relación agua-cemento baja (sin afectar la trabajabilidad de la mezcla y la hidratación del cemento).
 2. Alto contenido en cemento.
 3. Compactación y curado adecuado; y garantizar los recubrimientos.
- Empleo de cementos, de acuerdo con la riqueza en sulfatos, puzolánico o siderúrgico con alto contenido de escorias (mayor % cuanto mayor concentración en sulfatos). También se deben emplear cementos resistentes a los yesos, y los SR. Hay que tener una especial precaución con los cementos aluminosos porque sufren más que los Pórtland. Esto es debido a los cambios cristalinos que experimenta su estructura al sufrir ataques químicos que le provocan pérdidas rápidas de las resistencias y una desintegración rápida.
- Empleo de revestimientos especiales que hagan el hormigón más duradero.
- Empleo de protecciones si la agresividad fuese alta.

CROQUIS:



Explicación del proceso:

1. Difusión de los sulfatos procedentes del ambiente en el interior del hormigón.
2. Situación normal del aluminato tricálcico hidratado
3. Conversión del aluminato tricálcico hidratado (C_3A), dando lugar a la temida etringita que sufre la expansión.
4. Formación de fisuras que facilita el acceso a los ataques.

FOTOGRAFIA:



Las reacciones expansivas de la etringita han provocado la destrucción del recubrimiento de hormigón, dejando expuesta la armadura. El riesgo ahora aumenta debido a la posible corrosión que puedan sufrir las barras de acero. Se hace necesario tomar medidas para evitar que el proceso empeore más la situación.

1.1.2 Ataque químico	
DAÑO: Reacción de los álcalis	
DESCRIPCION: El mecanismo de ataque de los álcalis se asemeja más al de los sulfatos que al de los ácidos, puesto que dicho ataque es sobre una sola sustancia no como los ácidos que atacan a todas. La diferencia entre el ataque de los sulfatos y el ataque de los álcalis es que en el primer caso la sustancia reactiva es el cemento, y en el segundo caso son los áridos. La reacción de los álcalis se manifiesta de dos maneras: álcali-sílice, que es la más común, y álcali-carbonato.	
1. Reacción álcali-sílice	
DESCRIPCION: La reacción que caracteriza a este tipo de ataque es la que se produce entre los álcalis del cemento y la sílice de determinados áridos (poco comunes en España) que en presencia de agua suficiente pueden provocar una expansión destructiva. Esta reacción se produce al ser atacados los minerales silíceos del árido por los hidróxidos alcalinos derivados de los óxidos de sodio y potasio. El gel que se forma en la reacción absorbe agua sufriendo una fuerte expansión, que al estar impedida por la pasta endurecida del cemento da lugar a la creación de fuertes tensiones que fisuran el hormigón. El deterioro del hormigón se inicia con pequeñas fisuras superficiales distribuidas de manera irregular (fisuración en mapa) seguidas por la desintegración completa. La expansión general se desarrolla en la dirección menos resistente, dando lugar a fisuras superficiales paralelas que progresan hacia el interior (losas) y fisuración paralela a las trayectorias de las tensiones de compresión en elementos comprimidos. Otras manifestaciones típicas son los hinchamientos locales y exudación a la superficie de gotas gelatinosas.	
FACTORES A CONSIDERAR: los principales factores que influyen en la expansión son: • La reactividad de los áridos, que es quizás el factor más condicionante de este tipo de reacciones. Aun no existe un método único que permita evaluar la reactividad de los distintos tipos de áridos (Se usan los exámenes petrográficos y las pruebas para determinar la reactividad potencial) • La cantidad y granulometría de las sustancias reactivas. • La concentración de álcalis en el agua de los poros (cantidad interna de sustancias agresivas). Generalmente los álcalis libres son suministrados por el cemento, pero ello existen otras posibles fuentes de aporte de álcalis como puede ser el agua del hormigón endurecido. • El tipo de cemento (velocidad de transporte). • Condiciones ambientales (cantidad de sustancias agresivas exteriores) adversas pueden causar un aumento de la velocidad de deterioro. Es sabido que procesos cíclicos de desecación y humectación pueden provocar una mayor expansión. Es recomendable si se prevén ambientes nocivos la posibilidad de impermeabilizar superficialmente el hormigón. • La cantidad de agua disponible. • La porosidad del hormigón.	

1.1.2 Ataque químico

DAÑO: Reacción de los álcalis



RECOMENDACIONES:

- Evitar hormigones porosos y permeables mediante:
 1. Relación agua-cemento baja (sin afectar la trabajabilidad de la mezcla y la hidratación del cemento).
 2. Alto contenido en cemento.
 3. Compactación y curado adecuado; y garantizar los recubrimientos.
- Empleo de cementos con bajo contenido en álcalis. Es una buena opción la de usar cementos con adiciones como escorias siderúrgicas o puzolanas porque fijan los álcalis.
- Evitar el empleo de áridos de naturaleza reactiva.
- Impermeabilización del hormigón si se encuentra en ambientes que sufren secados y humectaciones intermitentes para evitar o limitar las expansiones.

SUSTANCIAS CON RIESGO DE ATAQUE:

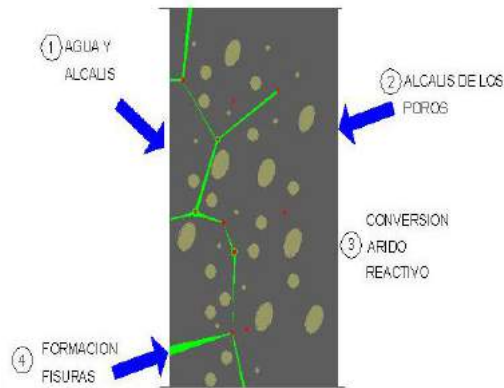
SUSTANCIAS REACTIVAS	COMPOSICION QUIMICA	CARACTERISTICAS FISICAS
-Ópalo	$\text{SiO}_2 \cdot \text{NH}_2 \text{O}$	-Amorfa
-Calcedonia	SiO_2	-Desde microcristalina hasta criptocristalina; comúnmente fibrosa
-Algunas formas de cuarzo	SiO_2	-Desde microcristalina hasta criptocristalina -Cristalina pero intensamente fracturada, pensionada y/o con gran número de inclusiones
-Cristobalita	SiO_2	-Cristalina
-Tridomita	SiO_2	
-Cristales riolíticos, dacíticos y latíticos -productos criptocristalinos de la decristalización	-Silíceos con pequeñas cantidades de $\text{Al}_2 \text{O}_3$ y $\text{Fe}_2 \text{O}_3$ -tierras alcalinas y álcalis	-Cristales -Materiales criptocristalinos como matrices de rocas volcánicas, fragmentos volcánicos o de tufas
-Cristales silíceos sintéticos	-Silíceos con pequeñas cantidades de álcalis, aluminio y/o otras sustancias	-Cristal

1.1.2 Ataque químico

DAÑO: Reacción de los álcalis



CROQUIS:



Explicación del proceso:

1. Difusión del agua y los álcalis, procedentes del ambiente al hormigón.
2. Difusión de los álcalis existentes en la red de poros.
3. Conversión de los áridos reactivos causando la expansión.
4. Formación de fisuras:
 - Fisuración en mapa.
 - Fisuración paralela a la superficie.

FOTOGRAFIA:



- Izqda: Fisuración paralela bajo un puente.
- Dcha: Gota de gel sílice-álcali.

2. Reacción álcali-carbonato

DESCRIPCION: Otro tipo de reacción que se produce entre los álcalis y los áridos es aquella en la que los áridos poseen carbonatos (áridos calizos o dolomíticos). A este tipo de reacción no se le da tanta importancia como a la de álcali-sílice, pero suele dar problemas importantes sobre todo cuanto mayor es el contenido de alúmina que posean. Un factor para distinguirla de la reacción entre álcali-sílice es la ausencia de gotas gelatinosas en los agrietamientos, y en algunos casos el hecho de que las juntas de expansión aparecen cerradas rodeadas en ocasiones de hormigón desmoronado.

LUGARES CON RIESGO DE ATAQUE: Aparece en lugares con una constante renovación de humedad:

- Muelles próximos al nivel del agua.
- Parte posterior de muros de contención.
- Bajo losas de pavimento.

RECOMENDACIONES:

- Las recomendaciones del apartado anterior son válidas para la reacción entre álcali-carbonato.

1.1.2 Ataque químico	
DAÑO: Otros componentes agresivos	
Aparte de los tres ataques más conocidos, explicados en los apartados anteriores, existen muchas otras sustancias que pueden afectar al hormigón en mayor o menor medida: • Los Nitratos, estos son solubles en agua y reaccionan con los componentes del cemento dando lugar a sales que se lixivian con facilidad. • Los Sulfuros, dan lugar a ataques ligeros, pero incrementan su poder nocivo si por oxidación se transforman en radical sulfato. • Los Carbonatos, son sales insolubles y no suelen perjudicar al hormigón. • Los Fosfatos, no suelen producir daños en el hormigón salvo algunos que presentan un cierto carácter ácido. • Las Sales de Magnesio y de Amonio, con un comportamiento similar al de los ácidos equivalentes reactivos. Actúan favoreciendo la corrosión del hormigón y su agresividad depende de la concentración del catión de la sal. Los de amonio son comunes en fertilizantes, que afectan al hormigón si la temperatura es calida y existe alta humedad. • El Hipoclorito cálcico, que en concentraciones elevadas ataca al hormigón si es muy poroso. Los hormigones de buena calidad no presenta problemas. • El Hidróxido sódico, que en concentraciones superiores al 10% y con temperaturas elevadas puede producir la desagregación del hormigón. • Los Jugos de frutas, que al contener ácidos orgánicos atacan al hormigón con mayor o menor gravedad en función de su concentración y naturaleza. • El Azúcar, ataca al hormigón con mayor daño cuanto más dentro de su masa se encuentra. • Los Aldehídos, no son agresivos salvo la disolución de formaldehído que da ácido fórmico que es moderadamente agresivo. • La Urea, que produce daños físicos al cristalizar en el interior de los poros de hormigón. Es muy empleada en fertilizantes. • La Leche, sobre todo los ácido lácticos muy usados en las industrias lácteas. Esto provoca la protección de los pavimentos de dichas industrias ante posibles derrames. • Los Aceites y grasas, derivadas del petróleo que se filtran en el hormigón y reducen la adherencia de los áridos con la pasta perjudicando las resistencias mecánicas. • Las Aguas residuales, de carácter industrial. Resulta fundamental la realización de análisis para conocer la concentración y componentes de las mismas para poder elegir con acierto el tipo de tubería que las transportará. • El Alcohol metílico y etílico, fuertemente agresivos al hormigón. • La Pirita y otros áridos sulfurosos, que se oxidan dando lugar a sulfatos que pueden generar la expansiva etringita al unirse al aluminato tricálcico del cemento.	

1.1 Daños por ataques de agentes exteriores	1.1.3
1.1.3 Corrosión en las armaduras	
DESCRIPCION: Cualquier metal puede sufrir dos tipos de corrosión: la corrosión electroquímica o galvánica y la corrosión por oxidación. De las dos el hormigón sufre la primera, ya que en la segunda no existen reacciones de oxidación–reducción que provoquen transporte de electrones. La corrosión galvánica se produce cuando entran en contacto dos metales diferentes provocando una diferencia de potencial, cuando un metal tiene zonas con diferentes concentraciones de oxígeno; o cuando tiene heterogeneidades en el entorno o con diferentes estructuras cristalinas; dando lugar a una pila. Su funcionamiento es el siguiente: 1. El hierro de la armadura se disuelve pasando los iones positivos a la disolución.(proceso anódico) 2. Los electrones liberados del acero se combinan con el agua de los poros del hormigón y con el oxígeno del exterior que atraviesa el recubrimiento, dando iones oxidrilo (2OH^-). (proceso catódico) 3. Tras etapas intermedias, los iones hierro y oxidrilo se combinan dando el óxido de hierro. (Fe_2O_3) Del proceso de corrosión se extraen dos conclusiones interesantes: • El oxígeno se difunde hacia las armaduras a través del recubrimiento. • El agua sólo es necesaria para conseguir que el proceso electrolítico se produzca. Esto significa que en hormigones secos (proceso electrolítico impedido) y en hormigones saturados (falta de oxígeno) la corrosión no se produce. Por tanto los hormigones con mayor riesgo son los que sufren cambios importantes de humectación y secado. Una de las propiedades más interesantes del hormigón es su carácter protector de las armaduras frente a la corrosión. Gracias a la alta alcalinidad que aporta la hidratación de la pasta de cemento ($\text{Ph}>13$), las barras de acero que están en el interior del hormigón sufren un proceso denominado pasivación; este consiste en la formación de una fina capa de óxido de hierro alrededor de la armadura que la protege de cualquier corrosión incluso en presencia de humedad y oxígeno, condiciones indispensables para la corrosión. Si el recubrimiento de la pieza de hormigón es de espesor suficiente y de porosidad reducida, el hormigón impedirá el paso de sustancias nocivas al interior del mismo porque conserva su carácter básico. Pero si el hormigón pierde su carácter básico ($\text{PH}<9$) la película pasiva comienza a perder efectividad en las zonas próximas al acero y puede verse afectada por fenómenos corrosivos.	
EFFECTOS DE LA CORROSION: • Fisuración de desarrollo continuo • Reducción de la sección transversal de la armadura y el desprendimiento del recubrimiento del hormigón (sobre todo en esquinas de piezas coincidentes con la posición de las barras principales). • Pérdida progresiva de la capacidad portante en una relación lineal con la reducción de sección. La armadura al oxidarse puede aumentar hasta seis veces de volumen si dispone del oxígeno necesario. Esto genera fuerzas expansivas que provocan fisuración y desprendimientos del hormigón, pudiendo ocasionar roturas frágiles si las fisuras son longitudinales y se producen en la zona de anclaje. En el caso de que el ambiente no disponga del oxígeno necesario la armadura al oxidarse no superaría dos veces su volumen inicial. (No aparece fisuración ni desprendimiento, pero si es posible un fallo sin aviso previo)	

1.1 Daños por ataques de agentes exteriores

1.1.3

1.1.3 Corrosión en las armaduras

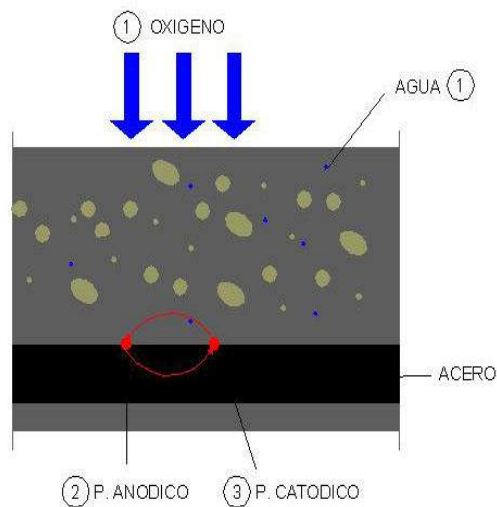
LUGARES CON RIESGO DE ATAQUE:

- Obras próximas al mar.
- Atmósferas industriales salinas.
- Cimentaciones en contacto con terrenos ricos en cloruros.
- Obras en lugares húmedos con atmósferas agresivas.

RECOMENDACIONES Y FACTORES A CONSIDERAR:

- Evitar hormigones porosos y permeables mediante:
 1. Relación A/C baja (sin afectar la trabajabilidad de la mezcla y la hidratación del cemento).
 2. Alto contenido en cemento.
 3. Compactación y curado adecuado; y garantizar los recubrimientos.
- Empleo de cementos de adiciones con puzolanas naturales, cenizas volantes o escorias de alto horno.

CROQUIS:



Explicación del proceso:

1. Difusión del oxígeno a través del recubrimiento; y existencia de agua en la red de poros del hormigón.
2. Proceso anódico: disolución del hierro, pasando los iones hierro a la disolución.

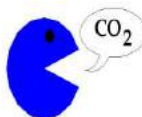
$$\text{Fe} \rightarrow \text{cationes Fe} + 2\text{e}^-$$
3. Proceso catódico: los electrones en exceso del acero se combinan con el agua y el oxígeno.

$$2\text{e}^- + \frac{1}{2} \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2(\text{OH})^-$$
4. Tras etapas intermedias aparece Fe_2O_3

FOTOGRAFIA:

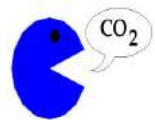


- Izqda.: Corrosión del armado de una viga.
- Dcha.: Fisuración por corrosión en un pilar circular con escaso recubrimiento.

1.1.3 Corrosión en las armaduras		
DAÑO: Carbonatación		
DESCRIPCION: Consiste en la reacción entre el CO₂ del aire, que penetra a través de los poros del hormigón, y el hidróxido cálcico, proveniente del cemento y posteriores reacciones durante el endurecimiento del hormigón. El producto final de la reacción es la formación de carbonato cálcico y agua: $\text{Ca (OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2 \text{O}$ Este proceso confiere al hormigón una mayor compacidad y una menor solubilidad en agua, debido a que el CaCO₃ tiene un mayor volumen que el Ca (OH)₂ con lo que los poros se estrechan y se reduce la solubilidad en agua. Pero por otra parte el proceso tiene un aspecto negativo que consiste en que el hormigón carbonatado deja de proteger las armaduras debido al descenso del PH del mismo. Al descender el PH a valores entre 9 y 10 se produce la despasivación del acero y se inicia la corrosión de toda la superficie de la armadura. Aunque que se haya producido la carbonatación del hormigón no significa que el acero este corroído ya que es preciso el aporte de oxígeno y la presencia del agua como medio conductor.		
FACTORES A CONSIDERAR: • La permeabilidad del hormigón, no cabe duda que cuanto mayor sea la cantidad de poros del hormigón mayor facilidad tendrá el CO₂ para avanzar hacia la armadura. • El espesor del recubrimiento. Estudios recientes definen que una reducción de recubrimiento de la mitad supone una velocidad de carbonatación cuatro veces mayor. • Las condiciones ambientales. En ambientes secos o con hormigones saturados de agua el riesgo de carbonatación es menor que en zonas donde existe riesgo de ciclos de humectación–secado acompañadas de altas temperaturas. La existencia de altas temperaturas promueve un aumento de la velocidad de corrosión y la movilidad de los iones; y por el contrario su disminución puede dar lugar a condensaciones que provoquen aumentos de la humedad. Como valor orientativo la carbonatación máxima se produce en torno a una humedad relativa del 60%. • Presencia de fisuras. Esto facilita la penetración de agentes como el CO₂ y los cloruros hasta las barras de acero produciéndose la despasivación con mayor rapidez. Como valor orientativo si el ancho de la fisura supera 0,30 mm. existe un peligro potencial de corrosión, siendo mayor dicho peligro si la fisura se encuentra en piezas situadas en ambiente marino o agresivo. Por el contrario, si la fisura es menor a dicho valor es frecuente observar que se produce una autocicatrización por medio de depósitos cálcicos, suciedad y productos derivados de la corrosión. En cuanto a su localización presentan mayor riesgo las que son paralelas a la armadura porque facilitan el ataque, por contra las que son perpendiculares a la dirección de la armadura producen corrosión superficial y poco extensa. • Presencia de otras sustancias en el ambiente que favorecen la carbonatación. Destacan el dióxido de azufre, típico de los gases de combustión, que en presencia de vapor de agua da ácidos sulfúricos, al igual que los óxidos nítricos que reaccionan dando ácidos nítricos. Estos ácidos se combinan dando carbonato calcico que se deposita en las capas exteriores facilitando la corrosión.		

1.1.3 Corrosión en las armaduras

DAÑO: Carbonatación

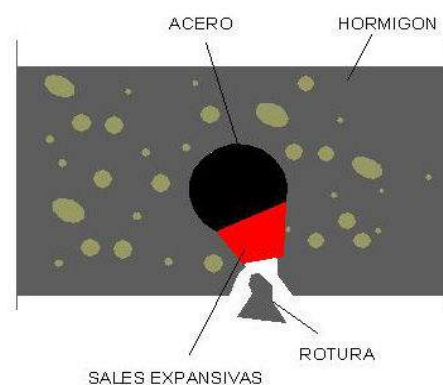
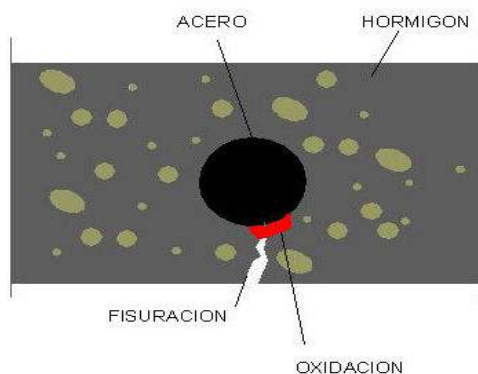


RECOMENDACIONES:

La carbonatación como proceso corrosivo exige las recomendaciones estudiadas en el apartado anterior:

- Evitar hormigones porosos y permeables mediante:
 1. Relación A/C baja (sin afectar la trabajabilidad de la mezcla y la hidratación del cemento).
 2. Alto contenido en cemento.
 3. Compactación y curado adecuado; y garantizar los recubrimientos.
- Empleo de cementos con adiciones de puzolanas naturales, escorias de alto horno o cenizas volantes puesto que se caracterizan por un desarrollo lento de resistencias en las primeras edades, y posterior endurecimiento. Así se garantiza un buen curado alcanzando una mayor impermeabilidad.
- Evitar ambientes con humedades entre el 50% y la saturación; y los ciclos humectación-secado.

CROQUIS:



Esquema del proceso:

1. Una vez el CO_2 ha penetrado en el hormigón, con dirección al acero, y se producido la despasivación del mismo; comienza la corrosión en presencia de humedad apareciendo la primera fisuración.
2. Se produce la oxidación del acero, con la formación de sales expansivas que provocan la rotura del borde de la pieza.

FOTOGRAFIA:



- Izqda: Pieza de hormigón que ha sufrido una rotura en el borde por la carbonatación.
- Dcha: Muestra de la formación de las sales expansivas que provocaran una posterior rotura.

1.1.3 Corrosión en las armaduras		
DAÑO: Presencia de cloruros		
DESCRIPCION: Para que se produzca corrosión electroquímica es preciso que se forme una pila galvánica con un ánodo, un cátodo, un electrolito y oxígeno; además de que el ánodo y el cátodo estén conectados eléctricamente para que se produzca el paso de electrones. El lugar en que el acero se corroe es el ánodo y en él, el átomo de metal pierde electrones al reaccionar con el medio corrosivo. Los electrones perdidos se consumen en el cátodo en una reducción de oxígeno. Ambas reacciones se encuentran ligadas por medio de un pase de iones al electrolito en el cátodo y de este al ánodo. Por tanto la pila se forma con una corriente que fluye del ánodo al cátodo en un sentido por el metal y vuelve en sentido opuesto a través del electrolito. El papel que toman los cloruros en este mecanismo es el penetrar a través de la red de poros del hormigón ya estén total o parcialmente llenos de agua (a diferencia del CO₂ que solo es dañino en poros de aire), e iniciar las reacciones de corrosión por despasivación de la película de oxido que protege el acero. Así permite que el acero entre en la disolución favoreciendo el transporte de electrones entre el ánodo y el cátodo. Aunque el aluminato tricálcico del cemento fija parte de los iones cloro, sobre todo si el hormigón es fresco, en el hormigón endurecido la cantidad de cloruros fijados es escasa de ahí que la normativa actual fije unas limitaciones para la presencia de iones cloruros para evitar los riesgos de corrosión.		
PROCEDENCIA DE LOS CLORUROS: • Del exterior, que se introducen en el hormigón a través de la red de poros. Esta situación es típica de ambientes marinos y de carreteras o puentes cuando se utilizan sales de deshielo, muy común en ambientes fríos. Especial cuidado se debe prestar en ambientes marinos calidos donde se produce la denominada “niebla salina” en la que los cloruros están suspendidos en gotas de humedad en el aire, de forma que la penetración de los cloruros se produce con mayor rapidez por medio de capilaridad. Otro aspecto a considerar en el caso de estructuras marinas es la zona que ocupan las estructuras en relación con el nivel del mar, distinguiéndose: 1. Zonas sumergidas, donde la corrosión es de naturaleza química. 2. Zonas de oscilación de nivel de agua, son zonas peligrosas porque cuando sube el nivel del agua el hormigón se satura y cuando baja se produce una desecación cristalizando las sales en los poros. Al volver a subir el nivel del mar se vuelve a llenar los poros y aumenta la concentración de ellos. Esto unido a la expansión de los cristales y las contracciones por los entumecimientos–desecciones seguidos empeoran el problema. 3. Zona de evaporación por encima del nivel del mar, donde el agua asciende por capilaridad y se evapora de forma continúa debido a su contacto con el aire. • Del interior del propio hormigón, formando parte de la composición de los diferentes ingredientes del hormigón. De este modo pueden estar en los áridos, el agua de amasado o curado, los aditivos, etc.		

1.1.3 Corrosión en las armaduras



DAÑO: Presencia de cloruros

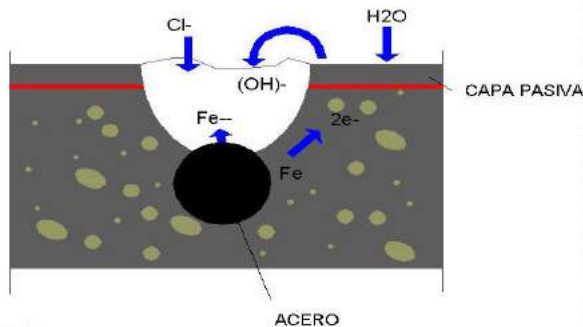
FACTORES A CONSIDERAR: Todo lo estudiado para los carbonatos es válido para los cloruros.

- La concentración de cloruros en el medio exterior, a mayor presencia de cloruro mayor riesgo de corrosión.
- Naturaleza del catión que acompaña al cloruro.
- Grado de carbonatación del hormigón, a mayor carbonatación más fácil es el ataque por cloruros.
- Espesor y calidad del recubrimiento.
- Espesor y cantidad de fisuras en el recubrimiento.
- Temperatura.

RECOMENDACIONES:

- Evitar hormigones porosos y permeables mediante:
 1. Relación A/C baja (sin afectar la trabajabilidad de la mezcla y la hidratación del cemento).
 2. Alto contenido en cemento. (empleo de los MR si se considera)
 3. Compactación y curado adecuado; y garantizar los recubrimientos.
- Empleo de cementos con adiciones de puzolanas naturales, escorias de alto horno o cenizas volantes que se caracterizan por un desarrollo lento de resistencias en las primeras edades, y posterior endurecimiento. Así se garantiza un buen curado alcanzando una mayor impermeabilidad.
- Evitar ambientes con humedades entre el 50%, la saturación y los ciclos humectación–secado.

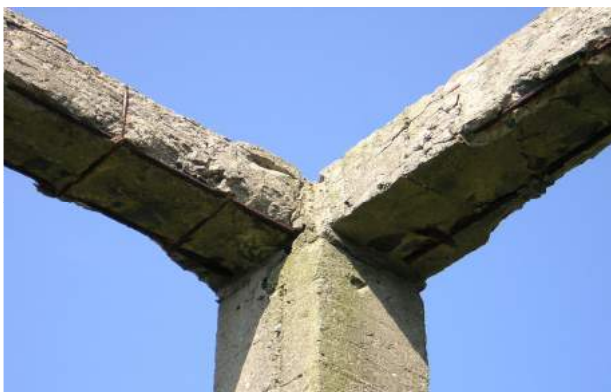
CROQUIS:



Explicación del proceso:

En la corrosión por cloruros se produce una corrosión por picaduras, debido a que la pasivación se pierde solamente en pequeñas áreas de la superficie. Esto provoca una reducción local de la sección de la armadura, además de que el cloro actúa como acelerador de la corrosión del hierro.

FOTOGRAFIA:



Ejemplo claro de corrosión por cloruros de las armaduras de dos vigas. Esta construcción estaba situada a la orilla del mar en una zona rural; con toda seguridad la ejecución de la estructura careció de todo tipo de control: posición de las armaduras, recubrimientos, etc.

1.2 Daños intrínsecos del propio hormigón.	1.2.1
1.2.1 Daños no estructurales	
INTRODUCCION: Estudiados en el apartado anterior los procesos referidos a los agentes externos del hormigón, en este apartado se tratará el estudio de otros fenómenos que pueden ocasionar patologías en las estructuras de hormigón armado en forma de fisuras. En este apartado se hará referencia a las fisuras que se generan por situaciones del proceso de ejecución; como un curado deficiente, un exceso de cemento en la composición, un excesivo calor, etc. Estas las clasificaremos en dos grupos: las que se producen durante el estado plástico del hormigón y las que aparecen durante el estado endurecido (daños no estructurales). Y por el otro lado en el apartado siguiente se explicarán las fisuras que surgen debido a las acciones mecánicas que sufre una estructura durante su vida (daños estructurales). Antes de comenzar el estudio exhaustivo de la fisuración del hormigón conviene definir una serie de conceptos referidos a las fisuras: • Una fisura aparece como consecuencia de superar la tensión que es capaz de soportar un material. • Una fisura es una puerta abierta a los agentes exteriores, estudiados en el apartado anterior, para acceder al hormigón. • La manifestación de una fisura es un fenómeno complejo, temporalmente algunas aparecen varios años después de ejecutada la estructura y otras surgen a los días o incluso horas posteriores. Por otra parte una fisura no siempre es fruto de una sola acción individual, sino que puede ser por causa de una acción conjunta. • Conocer el proceso de fisuración significa conocer cuales son las patologías y las enfermedades que sufre el hormigón; y por tanto es un paso previo y necesario para la aplicación de una solución adecuada. • La gravedad de una fisura depende del elemento estructural donde ha aparecido, y de su naturaleza. • Se definen fisuras muertas las que alcanzan una abertura y el proceso queda parado; se definen en movimiento las que la fisuración continúa a velocidad decreciente hasta llegar a estabilizarse; y son fisuras vivas las que la abertura es variable de acuerdo con la temperatura, solicitaciones, etc.	
TIPOS: • Daños no estructurales 1. Asiento plástico 2. Retracción plástica (Fisuras de afogado y en mapa) 3. Contracción térmica inicial 4. Retracción hidráulica	

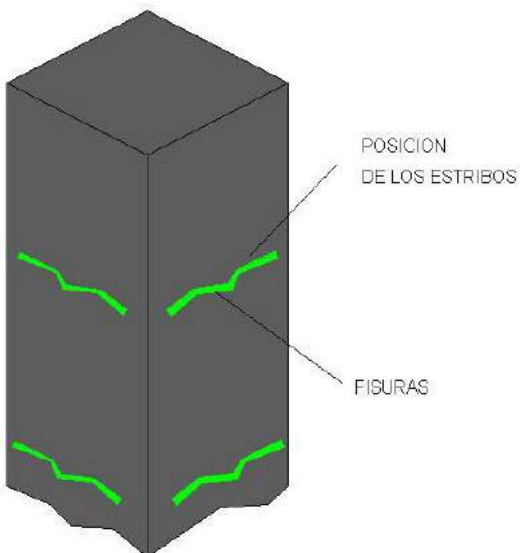
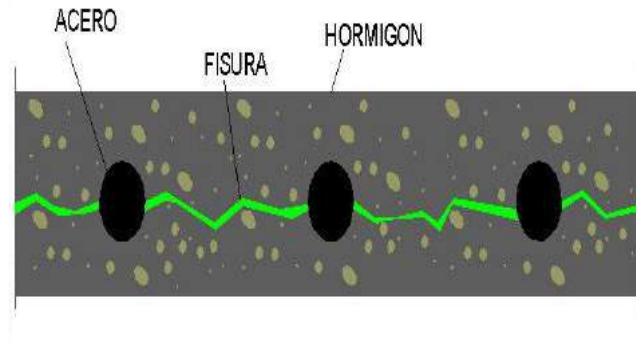
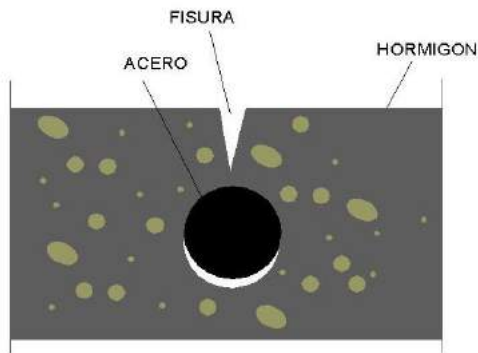
1.2.1 Daños no estructurales		
DAÑO: Asiento plástico		
DESCRIPCION: Es una segregación provocada por el asentamiento por gravedad de los componentes sólidos de mayor peso (áridos y cemento) hacia el fondo del encofrado; y el ascenso del agua del hormigón a la superficie. Este proceso, conocido por exudación, se produce a partir del momento del vertido y la compactación; y consiste en lo siguiente: el agua del amasado fluye a la cara superior del hormigón hasta el principio del fraguado, momento en el cual decrece bruscamente. Parte de éste flujo no llega a la superficie, quedando atrapada en los áridos y las barras horizontales de armado; provocando que la cara superior sea más débil que la inferior. En tiempo húmedo y frío el agua exudada se muestra en la superficie mientras que en tiempo calido y seco el agua se evapora antes de llegar a la superficie.		
EDAD DE APARICION: Aparecen en la etapa plástica, durante las primeras tres horas de vida del hormigón, pudiendo variar según la temperatura.		
TIPO DE FISURA: Las fisuras por asiento plástico son amplias y de poca profundidad; y no suelen tener mucha trascendencia estructural, apareciendo generalmente donde el descenso de la masa del hormigón se halla de alguna forma restringido. Su forma dependerá del armado del interior del hormigón: • Barras de armado: impiden el desplazamiento de las fisuras, por tanto estas aparecerán siguiendo la línea de las barras. • Plano de barras paralelas a la superficie: aparecerá una fisura plana horizontal coincidiendo con el eje de las barras, cortando al hormigón.		
DONDE APARECEN: • Piezas con gran canto. • Pilares y vigas: aparecen con dirección coincidiendo con la situación de los estribos. • Losas.		
RECOMENDACIONES: Para reducir la exudación (no se puede evitar) es recomendable: • Empleo de relaciones agua-cemento bajas. • Empleo de altos contenidos de cementos. • Empleo de adiciones en el cemento o el hormigón; de finura similar al cemento. • Uso de aditivos aireantes. • Garantizar un adecuado curado. • Evitar las condiciones de secado rápido en las primeras horas de vida del hormigón.		

1.2.1 Daños no estructurales

DAÑO: Asiento plástico



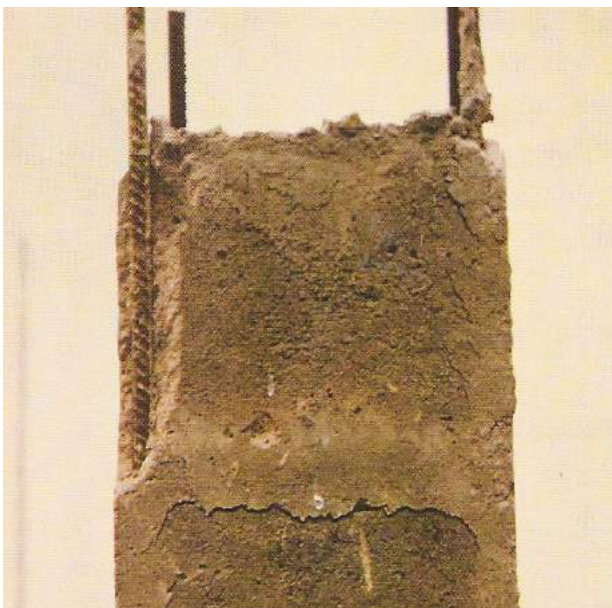
CROQUIS:



- Izqda. arriba: Fisura sobre una barra.
- Dcha. arriba: Fisura sobre una línea de barras.
- Izqda. abajo: Fisura en la situación de los estribos de un pilar.

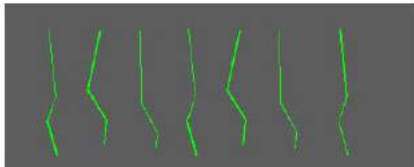
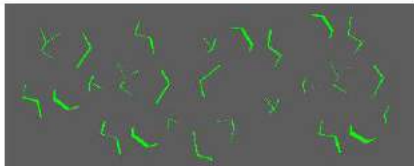
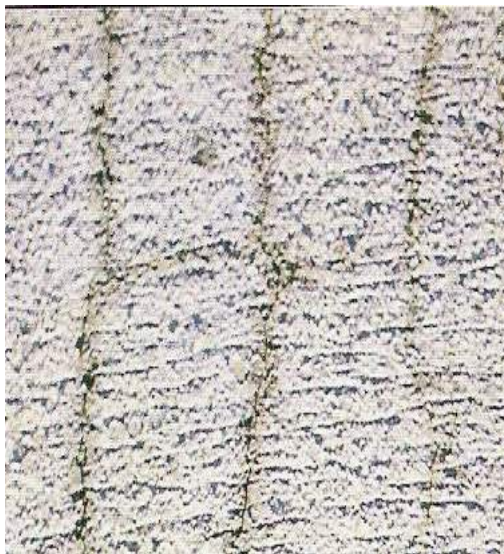
Estos tres ejemplos demuestran que el asiento plástico se produce siempre que la armadura coaccione el descenso del hormigón durante las tres primeras horas a partir del vertido.

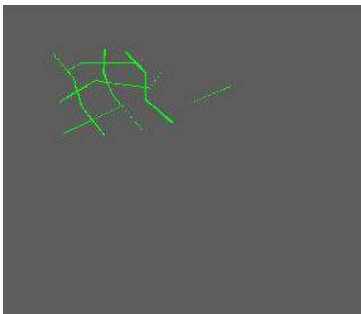
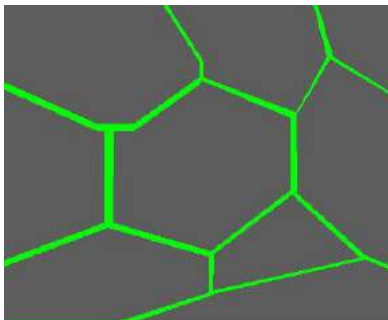
FOTOGRAFIA:



Clásicas fisuras de asiento plástico en la cabeza del pilar, ocupando la posición de los estribos. Esta se produce porque el hormigón debajo del estribo asienta, mientras que el que se encuentra por encima no puede bajar por estar coartado y se fisura.

1.2.1 Daños no estructurales		
DAÑO: Retracción plástica		
DESCRIPCION: Las fisuras de retracción plástica aparecen cuando la evaporación del agua superficial es mayor que el aporte de agua exudada desde el interior del hormigón. Esta situación, y el retraso del curado y protección del hormigón, provocan un aumento de la tensión capilar en los poros llenos de agua que origina las fisuras. La aparición de este tipo de fisura es mayor si cerca de la superficie existen armaduras o áridos gruesos que impidan la deformación; debido a que las tracciones que se generan no pueden ser absorbidas por el hormigón que en estas primeras horas tiene una nula resistencia. Un aspecto que favorece esta fisuración es el secado que produce un ambiente seco, de altas temperaturas y con viento; aunque en tiempo frío y húmedo también pueden aparecer siempre que existan vientos fuertes. Por otra parte estas fisuras también pueden ser causadas por los movimientos prematuros de encofrados, cimbras o apuntalamientos.		
EDAD DE APARICION: Aparecen en la etapa plástica, durante las primeras seis primeras horas de vida, después del vertido del hormigón cuando comienza la desaparición del brillo de la pasta húmeda.		
TIPO DE FISURA: Las fisuras por asiento plástico son amplias y de poca profundidad (2–3 mm.) y van decreciendo conforme van profundizando en la pieza, aunque en ocasiones pueden seccionar la pieza. No suelen tener mucha trascendencia estructural; y se pueden cerrar con el fratasado de la superficie del hormigón o mediante revibrado.		
DONDE APARECEN: Son frecuentes en elementos estructurales con predominio de superficie frente a volumen. Suelen ser paralelas, separadas entre 0,2 y 1,0 m.; y en las esquinas de las mismas formando un ángulo de 45° con los lados de las losas • Losas de hormigón armado. • Pavimentos. • Placas y forjados. Si son de espesor variable las fisuras suelen aparecer en las partes delgadas.		
RECOMENDACIONES: • Empleo de relaciones agua–cemento bajas. • Reducir el empleo de finos en el hormigón, ya sean procedentes de la arena, adiciones, etc. • Garantizar un adecuado curado. • Revisar cuidadosamente las superficies del hormigón inmediatamente después de desencofradas. • Protección del hormigón en caso de climas secos, cálidos y con vientos fuertes.		

1.2.1 Daños no estructurales			
DAÑO: Retracción plástica			
CROQUIS:			
 	EN VIGAS EN FORJADOS		- Izqda. arriba: Fisuras de retracción plástica en una viga. Aparecen linealmente donde se encuentran las barras de armado. - Izqda. abajo: Fisuras de retracción plástica en un forjado o losa. Aparecen con una disposición aleatoria.
FOTOGRAFIA:			
 			- Izqda arriba: Clásica fisura de retracción plástica en la superficie de una losa. La causa principal de esta fisura ha sido la ausencia total de protección contra las altas temperaturas, situación que se pudo prever ya que la losa se ejecutó en los meses de verano. - Izqda abajo: Fisuración en la cara superior de una viga, coincidiendo con la posición de las barras. La causa de la fisuración ha sido por realizar el hormigonado estando la armadura caliente, que se encontraba expuesta al sol sin protección.

1.2.1 Daños no estructurales		
DAÑO: Retracción plástica		
Fisuras de afogarado		
DESCRIPCION: Las fisuras de afogarado son un tipo de fisuras de retracción plástica que surgen por un secado enérgico en las primeras horas de la puesta en obra del hormigón cuando aún no ha terminado de fraguar. Estas presentan una distribución caprichosa, ya que tienen que adaptarse al contorno de los áridos debido a la falta de resistencia del hormigón, pudiendo formar nidos de fisuras en las zonas con mayor riqueza de pasta. Son siempre superficiales y de pequeña profundidad no superando los 0,10 m. Su aparición se produce desde el día 1 al 7, aunque pueden aparecer mucho más tarde.		
Fisuración en mapa		
DESCRIPCION: Al igual que las fisuras de afogarado, la fisuración en mapa (también denominada en piel de cocodrilo) es considerada por algunos autores como un tipo de fisuras de retracción plástica o hidráulica; mientras que otros autores la separan de estas porque la causan motivos diferentes y en momentos distintos. Este tipo de fisuración se produce por un alto contenido de humedad, que genera tensiones superficiales, agravándose la situación cuando el gradiente de humedad en sentido normal a la superficie es muy fuerte. Son fisuras superficiales, con una profundidad que no alcanza el cm. y por tanto con poca trascendencia estructural. Al igual que sucedía con las fisuras de contracción térmica, a veces son tan finas que solo se observan cuando se humedece con agua la superficie de hormigón y posteriormente se seca. Su aparición se produce desde el primer día de vertido hasta los quince días posteriores. Y son típicas en losas, placas, pavimentos y superficies encofradas con encofrados de poca permeabilidad.		
CROQUIS:   • Izqda. arriba: Croquis de un nido de fisuras típico de la fisuración por afogarado. • Izqda. abajo: Croquis de una fisuración en mapa.		
FOTOGRAFIA:  Clásicas fisuras de afogarado en un enfoscado de fachada. Posiblemente están causadas por el empleo de un mortero de cemento inadecuado o por la rápida evaporación del agua del mortero. Una vez que el mortero haya fraguado se pueden eliminar con fratasado.		

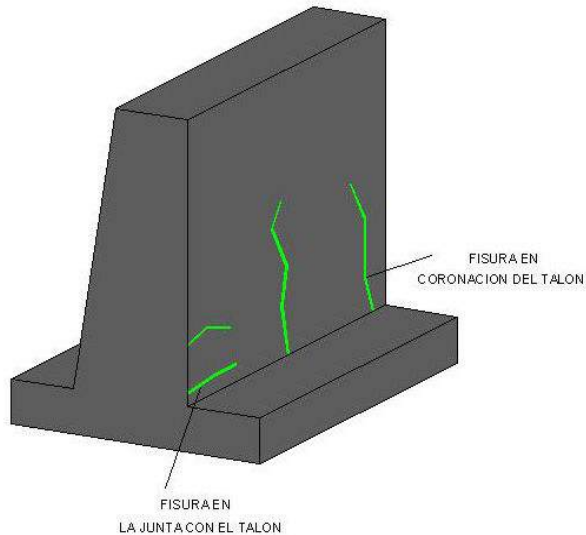
1.2.1 Daños no estructurales		
DAÑO: Contracción térmica inicial		
DESCRIPCION: Son los movimientos que se producen en la masa del hormigón, durante el proceso de fraguado y endurecimiento, debido a la diferencia de temperatura que existe dentro de ella. Debido al calor de hidratación del cemento, el interior de la masa está a mayor temperatura que la zona superficial de la pieza en contacto con el ambiente; como este calor no puede alcanzar el exterior, sobre todo en piezas de gran espesor o en macizos, se produce un gradiente térmico desde el interior de la pieza hasta la superficie (mayor cuanto mayor sea la temperatura del hormigón y menor la del ambiente). Este gradiente térmico genera un enfrentamiento entre las tensiones de tracción de las capas exteriores y las tensiones de compresión de las interiores. Si las tensiones de tracción superan a la resistencia a tracción del hormigón (aun baja porque está en pleno proceso de endurecimiento) se produce la fisuración de la pieza. Esta forma de generar el gradiente a partir del calor de hidratación también se le conoce por coacción interna del hormigón. Sin embargo, cuando el gradiente aparece por la diferencia de temperatura un hormigón ya endurecido o un terreno, sobre el que se vierte el nuevo hormigón; se denomina coacción externa.		
EDAD DE APARICION: Aparecen en la etapa en la que el hormigón esta endureciendo, desde el primer al quinto día de vida (en ocasiones también aparecen a las dos o tres semanas de vida).		
TIPO DE FISURA: Las fisuras por contracción térmica aparecen en la superficie en forma de mapa de fisuras y suelen cerrarse cuando desaparecen las diferencias de temperatura. En muros aparecen en la coronación del talón y en la junta con el talón. No alcanzan más que unos mm. o cm. de profundidad, y en ocasiones son tan finas que solo resultan visibles cuando se humedece la superficie y comienza a secarse otra vez, revelando su presencia la humedad almacenada.		
DONDE APARECEN: En elementos de gran espesor: • Losas o placas gruesas. • Muros gruesos		
RECOMENDACIONES: Para reducir la coacción interna: • Empleo de cementos de bajo calor de hidratación, y áridos de bajo coeficiente de dilatación. • Empleo de contenidos no muy altos de cementos. • Curado adecuado. • Empleo de moldes o encofrados adecuados que permitan enfriar la masa. Es común en elementos de gran volumen como muros o presas el empleo de serpentines con circulación de agua fría. Para reducir la coacción externa: • Disponer juntas de contracción adecuadas. • Empleo de armaduras para repartir las fisuras y controlar el ancho. • Reducir el tiempo de hormigonado entre elementos superpuestas (Ej.: cimentación–alzado de muro) • Reforzar el hormigón con fibras o empleando pretensados.		

1.2.1 Daños no estructurales

DAÑO: Contracción térmica inicial



CROQUIS:



En los muros de gran espesor, las fisuras causadas por la contracción térmica aparecen como en el croquis. Este tipo de fisuras se producen debido al gradiente de temperatura que existe entre el interior de la masa y la parte trasera del muro en contacto con el terreno.

FOTOGRAFIA:



Ejemplo de fisura por contracción térmica en un muro de contención. Son más abiertas en la coronación del muro y se van cerrando a medida que descienden quedando con frecuencia su línea de rotura en discontinuidad. En ocasiones se pueden confundir con las fisuras que produce un asiento.

1.2.1 Daños no estructurales	
DAÑO: Retracción hidráulica	
DESCRIPCION: Consiste en la disminución de volumen que sufre el hormigón endurecido cuando está expuesto a un ambiente que le provoca la desecación; que será mayor cuanto más seco sea el ambiente y cuando exista la presencia de viento. Si la disminución del volumen está impedida se crean unas tensiones de tracción, que al igual que en las contracciones térmicas si superan la resistencia de la masa de hormigón provocan la fisuración del elemento. Un aspecto importante en este tipo de fisuración es la rigidez del elemento estructural así como la del conjunto estructural al que afecta, pudiendo darse el caso de que se fisuren elementos unidos a la pieza que sufre la retracción mientras dicha pieza permanece intacta.	
EDAD DE APARICION: Aparecen cuando el hormigón ya ha superado la etapa plástica desde los quince días de vida hasta el año, siendo mas significativas las fisuras que aparecen en edades tempranas. Se debe prestar atención a dos momentos propicios para la fisuración: el primer verano del elemento de hormigón y la aplicación de calefacción o aire acondicionado; porque pueden generar situaciones de desecación en el hormigón.	
TIPO DE FISURA: A diferencia de las fisuras de retracción plástica, las fisuras de retracción hidráulica suelen tener un ancho constante y presentan un trazado limpio sin cruces ni ramificaciones. Es un fisuración superficial pero que puede alcanzar cierta profundidad; y en ocasiones por su forma es difícil de distinguir de la fisuración por retracción plástica, contracción térmica y fisuración en mapa.	
DONDE APARECEN: • Vigas de fuerte sección y muy armadas unidas a pilares esbeltos y poco rígidos; apareciendo las fisuras en la cabeza y los pies de los pilares. • Vigas de media y gran luz; apareciendo perpendiculares a su eje, de espesor constante y seccionando toda la viga se si encuentra coaccionada por pilares de gran rigidez. • Pórticos con las vigas de diferente nivel con distinta cuantía de armadura; apareciendo las fisuras en la viga menos armada. • Pilares de un pórtico hiperestático; apareciendo las fisuras en las vigas. • Forjados, si están coaccionados por vigas o nervios. • Láminas. • Muros de sostenimiento de terrenos; apareciendo las fisuras en su coronación descendiendo hacia el terreno. Suelen ser verticales y paralelas, separándose unos diez metros unas de otras. • Elementos muy armados, donde la propia armadura coacciona la deformación, apareciendo las fisuras en la zona del recubrimiento más rica en pasta de cemento. • Colocación de un hormigón nuevo sobre una ya existente (Ej.: pavimento sobre solera). • Vigas mixtas.	

1.2.1 Daños no estructurales

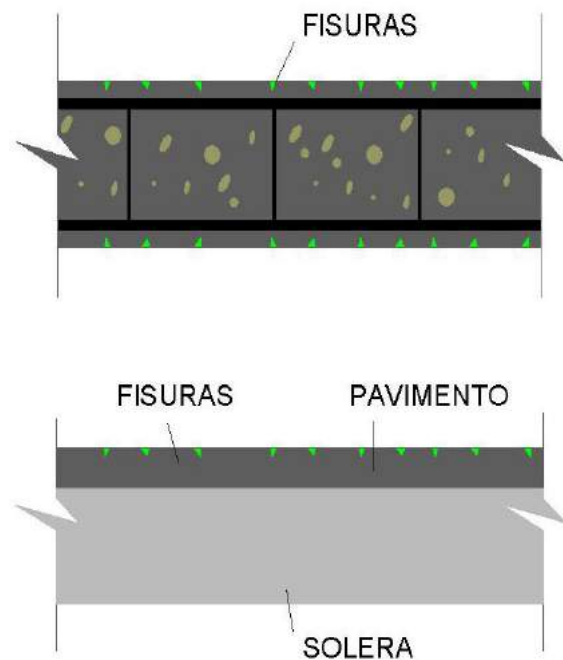
DAÑO: Retracción hidráulica



RECOMENDACIONES:

- Empleo de contenidos no muy altos de cemento.
- Curado y compactación adecuados que garanticen la homogeneidad de la mezcla. Se evitarán los vibrados excesivos porque generan segregación de la mezcla.
- Empleo de relaciones agua-cemento bajas.
- Empleo de granulometrías adecuadas; sin áridos excesivamente gruesos que favorecen la formación de micro fisuras a su alrededor.
- El empleo de aditivos puede reducir la retracción hidráulica.
- Colocación de armadura adecuada para controlar el ancho y separación de las posibles fisuras.

CROQUIS:



- Izqda. arriba: Fisuras en los recubrimientos por ser un elemento muy armado que impide los movimientos en el núcleo.
- Dcha. arriba: Fisuración causada por un excesivo vibrado que provoca la segregación de los áridos al fondo, quedando la pasta de cemento arriba.
- Izqda.: Fisuración por la colocación de un hormigón fresco sobre uno endurecido.

FOTOGRAFIA:



Fisuración en una valla de hormigón en masa que al carecer de armado mínimo rompe con facilidad. No tiene trascendencia estructural, pero podría haberse evitado realizando juntas a la distancia adecuada.

1.2 Daños intrínsecos del propio hormigón	1.2.2
1.2.2 Daños estructurales (acciones mecánicas)	
DESCRIPCION: En este apartado se estudiarán las fisuras y daños que aparecen en el hormigón como consecuencia de las tensiones que han rebasado su capacidad resistente. Dichas tensiones son (fuerzas por unidad de superficie) causadas por cargas tales como los pesos propios de los elementos estructurales, sobrecargas gravitatorias, etc. Para el estudio de las fisuras hay que partir del hecho de que el hormigón no es un material homogéneo y que por tanto su comportamiento mecánico varía en función no solo de las características mecánicas de hormigón y acero, sino de la situación y cantidad relativa de cada uno de ellos en las diferentes secciones del elemento, así como las condiciones de adherencia de ambos. Por otra parte los daños que sufre el hormigón por las acciones mecánicas suelen tener varias causas conjuntas, salvo contadas excepciones, de ahí que sea interesante poder establecer modelos de referencia tanto para las acciones como para los propios elementos resistentes.	
TIPOS: • Compresión: estado tensional que sufre una pieza cuando soporta un conjunto de esfuerzos perpendiculares a la sección de la pieza y cuyos sentidos van hacia la sección, acortándola. • Tracción: estado tensional que sufre una pieza cuando soporta un conjunto de esfuerzos perpendiculares a la sección de la pieza y cuyos sentidos van hacia fuera de la sección, alargándola. • Flexión: esfuerzo causado por fuerzas perpendiculares a algún eje contenido en la sección y que no lo corten, y por momentos localizados que tengan la dirección de alguno de los ejes contenidos en la sección. • Cortante: sollicitación causada por fuerzas paralelas a la sección. • Torsión: Sollicitación producida por las fuerzas paralelas a la sección y que no cortan al eje perpendicular a ella, y por momentos localizados que tengan la dirección del eje perpendicular a la sección. • Rasante: Tensión provocada por fuerzas que van en dirección de las fibras y mantienen unidas las moléculas en dirección de la fibra neutra, son iguales en modulo y de sentido contrario a las fuerzas cortantes. • Punzonamiento: Esfuerzo provocado por tracciones debidas a tensiones tangenciales provocadas por una carga o reacción localizada en una superficie pequeña de un elemento bidireccional de hormigón (alrededor del soporte).	

1.2.2 Daños estructurales (acciones mecánicas)		
DAÑO: Compresión		
DESCRIPCION: Aparece cuando una sección está sometida a un esfuerzo axial de compresión que actúa en el centro de gravedad de la pieza. Este tipo de solicitaciones, típica de los pilares, no aparecen en la realidad de forma independiente, ya que exigiría una altísima precisión en los mecanismos de centrado de cargas. Por tanto se asume una desviación accidental y no controlable del punto de aplicación de la carga, que se traduce en la aparición de una excentricidad accidental (limitada en el artículo 42.2.1 de la EHE). Esto reduce cualquier problema de compresión simple en uno de flexocompresión esviada, es decir, una fuerza normal descentrada que genera momentos flectores en ambos ejes al existir excentricidades respecto a los ejes principales de la sección. La forma habitual de agotamiento es mediante una fisuración muy fina (0,05 a 0,15 mm.), paralela a la dirección de la pieza (aunque en hormigones muy secos puede aparecer formando un plano oblicuo) y no superpuesta a las armaduras. Esta fisuración es muy peligrosa ya que aparece en un estado de prerrotura, aproximadamente al 90% de la capacidad portante de la pieza, de ahí el riesgo potencial de derrumbamiento o colapso de la estructura. Este riesgo se incrementa debido a la escasa capacidad de aviso de la rotura.		
TIPO DE FISURA: Generalmente la fisuración se produce en paralelo a la dirección del esfuerzo, pero según la esbeltez (relación altura/espesor) de la pieza, si se coarta la dilatación transversal en sus extremos, la heterogeneidad del hormigón, etc.; la fisuración puede aparecer con separaciones variables y cortándose formando ángulos agudos. Por otra parte debido a la mayor deformación que sufre el mortero respecto al árido grueso ante una compresión, es común la formación de superficies de cizallamiento paralelas a la dirección del esfuerzo pero desplazadas por la presencia de los áridos.		
DONDE APARECEN: • Pilares. ➤ En pilares esbeltos aparece una fisuración peligrosa en la parte central del mismo y solo en una de sus caras. Son fisuras finas y muy próximas unas de otras, siendo un índice bastante claro de iniciación de pandeo (la carga axial es tan grande que el eje de la pieza abandona la línea recta y adopta una forma curva experimentando deformaciones) típico de pilares metálicos. ➤ En pilares ejecutados con hormigones de mala calidad, la rotura comienza en la parte superior descendiendo a la parte central ya que el hormigón de la cabeza es más débil por las segregaciones que se producen durante el vertido por un mal vibrado. ➤ En pilares zunchados (existe una compresión normal a la compresión principal) las fisuras aparecen inclinadas. Produciéndose el desprendimiento de los recubrimientos, que no tiene porque ser peligroso pero que exige comprobar si ha provocado fisuración en las vigas que soporta. • Muros de sótano, que sufren compresiones por las cargas gravitatorias que soportan. • Zapatas rígidas ($V_{max} \leq 2h$).		

1.2.2 Daños estructurales (acciones mecánicas)

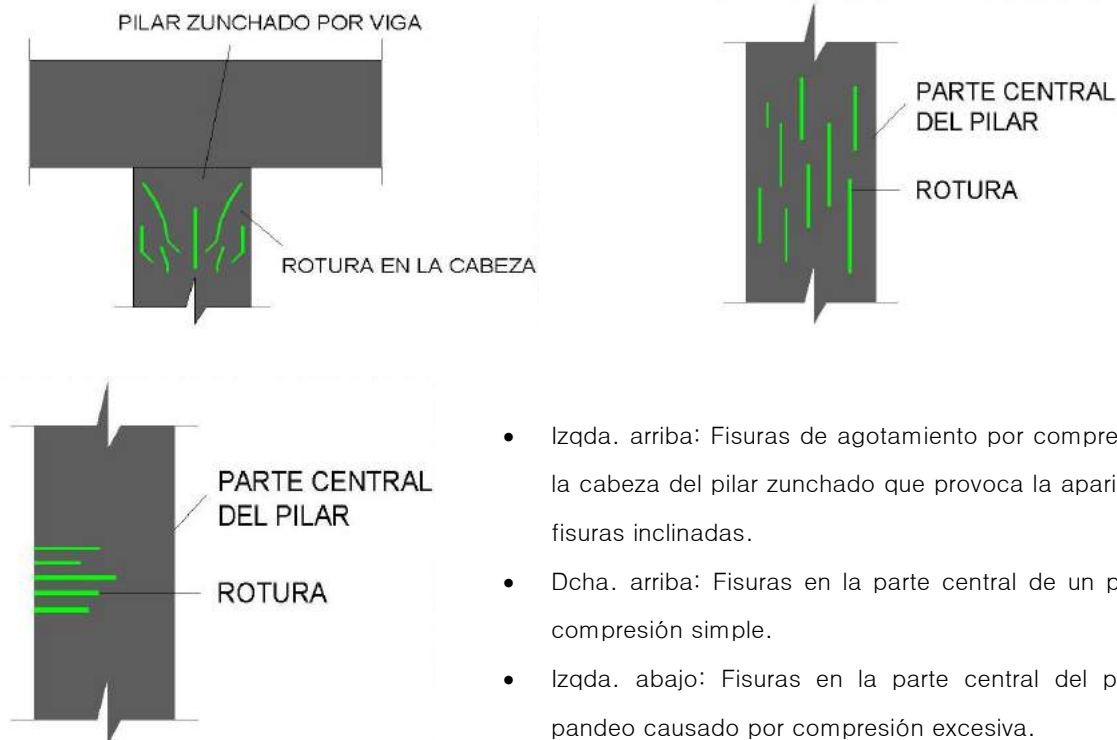
DAÑO: Compresión



RECOMENDACIONES: Se deben evitar las siguientes prácticas

- Dimensionado incorrecto: secciones y armaduras insuficientes.
- Mala selección de los materiales que dan hormigones de mala calidad.
- Aumento de luces de vanos o crujías no contempladas en los cálculos (viguetas o vigas de luces superiores a las previstas) o entrada prematura en carga.
- Ejecución incorrecta: estribos caídos o inexistentes.
- Movimientos no considerados en el calculo que provocarían momentos excesivos en pilares muy rígidos (asientos diferenciales en la cimentación, sismo, viento, empujes, etc.)

CROQUIS:



- Izqda. arriba: Fisuras de agotamiento por compresión en la cabeza del pilar zunchado que provoca la aparición de fisuras inclinadas.
- Dcha. arriba: Fisuras en la parte central de un pilar por compresión simple.
- Izqda. abajo: Fisuras en la parte central del pilar por pandeo causado por compresión excesiva.

FOTOGRAFIA:



En la foto se observa como el pilar ha roto al no ser capaz de soportar la carga a la que estaba sometido, siendo evidente el peligro de colapso instantáneo según la mayor o menor cuantía de la armadura existente.

En este caso la rotura se ha producido en un plano oblicuo formando 60° con aproximación a lo que sería la rotura por cortante. Esta forma de rotura no es muy usual y aparece en hormigones muy secos.

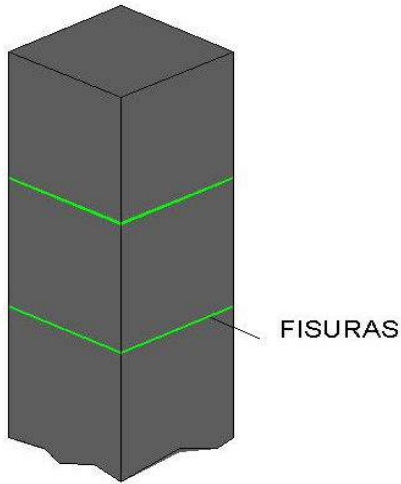
1.2.2 Daños estructurales (acciones mecánicas)		
DAÑO: Tracción		
DESCRIPCION: Es el fenómeno que sufre una sección que esta sometida a un esfuerzo axil de tracción que actúa en el centro de gravedad de la pieza. Al igual que la compresión, la tracción es un esfuerzo que rara vez se produce de forma independiente, debido a la imposibilidad de hacer coincidir los mecanismos de centrado de las cargas. En las estructuras de hormigón armado, el hormigón no es capaz de resistir los esfuerzos de tracción de forma fiable por lo que se considera que no trabaja a tracción. Por ello la totalidad del esfuerzo debe ser resistido por el acero, de forma que la disposición de las armaduras debe ser tal que su centro de gravedad coincida con el de la sección a fin de no introducir excentricidades. Son poco frecuentes, pero cuando las deformaciones de estas sobrepasan cierto valor pueden aparecer fisuras de forma súbita y atravesando toda la sección.		
TIPO DE FISURA: Las fisuras producidas por esfuerzos de tracción son perpendiculares a la dirección del esfuerzo. Predomina su aparición en los pilares, ocupando en ocasiones la posición de los estribos o cercos.		
DONDE APARECEN Y CAUSAS QUE LA PRODUCEN: La aparición de la fisuración por tracción en los pilares se puede producir por varias causas: • Asentamiento de la cimentación, provocando que el pilar quede colgado de la estructura pasando de trabajar de compresión a tracción. Si el soporte está poco armado aparecerá una sola grieta abierta seccionándolo, pero si está muy armado se producirán fisuras muy finas en su zona central. • Omisión de viga centradora en zapatas medianeras. • Cimientos sobre relleno en ladera. • Excavación en solar medianero a una cota inferior a la cimentación existente. • Deformación excesiva de los vanos concurrentes del pilar. • Remodelaciones que conllevan eliminaciones de vigas y pilares, aperturas de huecos forjados o muros, etc. Cualquier situación que provoque un cambio en la forma de trabajo de un pilar, como el descenso del mismo, puede cambiar la configuración de trabajo de la estructura con el evidente riesgo que conlleva,		
RECOMENDACIONES: Al igual que la compresión se deben evitar las siguientes prácticas • Dimensionado incorrecto: secciones y armaduras insuficientes. • Mala selección de los materiales que dan hormigones de mala calidad. • Cualquier tipo de variación en las condiciones de trabajo de la estructura previstas en el cálculo, que pueda provocar que los pilares pasen a soportar tracciones. • Ejecución incorrecta: estribos caídos o inexistentes.		

1.2.2 Daños estructurales (acciones mecánicas)

DAÑO: Tracción



CROQUIS:



- Izqda. arriba:

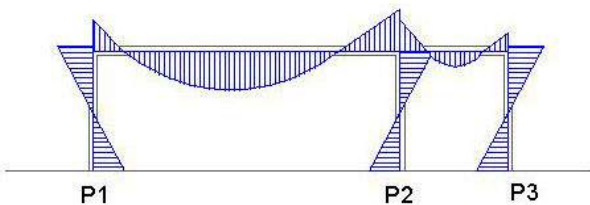
Al pasar de soportar compresiones a tracciones el pilar queda colgado, apareciendo fisuras que lo seccionan como indica la figura.

- Izqda. abajo:

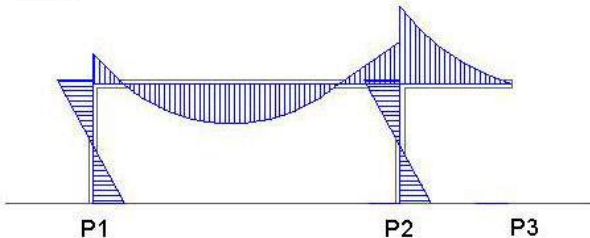
En la figura se representa el diagrama de momentos de dos casos bien distintos:

- Caso1: Pórtico cualquiera.
- Caso2: Mismo pórtico que por asiento del cimiento pasa a “desconectar” el pilar 3. El nuevo diagrama obliga a la viga a trabajar en voladizo, situación no prevista en el calculo y que puede ocasionar la aparición de grietas.

caso 1



caso 2



FOTOGRAFIA:



Rotura de la parte superior de un pilar poco armado. En este caso la rotura aparece como una grieta abierta que lo secciona, al pasar de la compresión típica de los pilares a la tracción no prevista en el cálculo.

1.2.2 Daños estructurales (acciones mecánicas)		
DAÑO: Flexión		
DESCRIPCION: Dentro del concepto de flexión distinguiremos entre flexión simple y compuesta. Se dice que una sección esta sometida a flexión simple cuando soporta un momento flector pero no un esfuerzo axil, así por ejemplo las vigas se calculan suponiendo este tipo de flexión ya que el axil suele ser despreciable. La capacidad del hormigón armado de soportar la flexión simple dependerá fundamentalmente de la cuantía mecánica de la armadura de tracción. Por el contrario cuando además del flector actúa el axil hablamos de flexión compuesta, en este caso según la forma de trabajo encontramos con tres situaciones diferentes: • tracción compuesta: cuando todas las fibras de la sección están sometidas a una misma deformación de tracción o alargamiento. • compresión compuesta: si todas las fibras de la sección están comprimidas. • flexión compuesta: si en la sección hay fibras comprimidas y otras traccionadas, como generalmente le sucede a los pilares. En el caso de la flexión compuesta la forma de agotamiento de las secciones de hormigón depende de los valores del momento y del axil, así como de la excentricidad con que se aplica dicho esfuerzo axil. Las secciones sometidas tanto a flexión simple como a flexión compuesta presentan la particularidad de que avisan con tiempo suficiente antes de alcanzar la rotura mediante deformaciones y fisuras que alertan del peligro. De esta forma se pueden tomar las medidas de refuerzo correspondientes; o incluso si la armadura de tracción no ha llegado a su límite elástico pueden cerrarse las fisuras y desaparecer al descargar el elemento.		
DONDE APARECEN Y TIPO DE FISURAS: Las fisuras de flexión son las más comunes en edificación y pueden aparecer en los siguientes elementos: • Vigas: Las fisuras de flexión se inician en la armadura, progresan en vertical hacia la fibra neutra y al final se curvan hacia el interior buscando el punto de aplicación de la carga deteniéndose al alcanzar la cabeza de compresión. • Pilares: La rotura del pilar por flexión es mediante una fisura abierta por una cara y cerrándose a medida que se aleja de la zona de tracción. La fisura es fina, horizontal y puede aparecer en los extremos de los pilares (cabeza y base). • Muros de contención: Cuando un muro de contención se calcula y se arma en ménsula, y las tierras pierden su cohesión inicial en una zona soportada por el muro, si este no tiene el armado suficiente debido a ese empuje parcial aparece una flexión que provoca una tracción horizontal que causa una fisura vertical. Esta fisura es más abierta en la parte superior y se cierra a medida que desciende. • Forjados: las fisuras son transversales en la zona central de las viguetas, y ascienden verticalmente a la parte superior. • Ménsulas: son fisuras abiertas que se cierran a medida que descienden. • Vigas centradoras: son fisuras abiertas que se cierran a medida que descienden.		

1.2.2 Daños estructurales (acciones mecánicas)

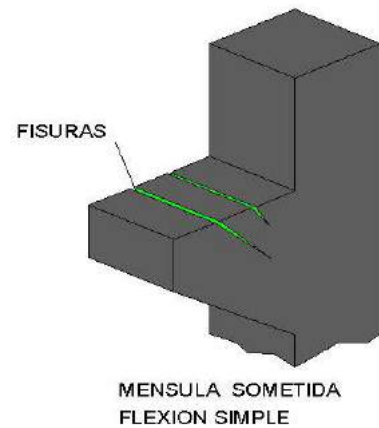
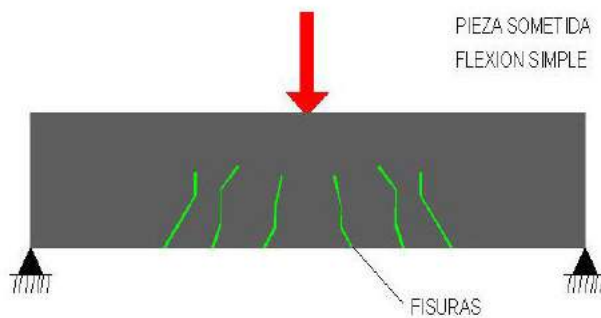


DAÑO: Flexión

RECOMENDACIONES: Se deben evitar las siguientes prácticas perjudiciales:

- Disposición de armadura insuficiente o mal situada (es mejor mayor número de barras de menor $\varnothing$ que viceversa).
- Aplicación de sobrecargas excesivas.
- Cálculo y diseño de secciones insuficientes.
- Puesta en obra del hormigón incorrecta: omisión de patillas, desencofrado prematuro, empleo de hormigones de menor resistencia, falta de adherencia, etc.
- Acciones no previstas como viento, sismo, etc.

CROQUIS:



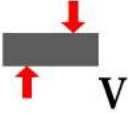
En los croquis superiores se observa la fisuración por flexión de una viga y una ménsula, las principales características de este tipo de fisuración se puede resumir en:

- Aparecen en la fibra traccionada progresando en vertical, deteniéndose en la fibra neutra.
- Aparecen siempre varias y muy juntas.
- Aparecen bajo carga evolucionando lentamente, y desaparecen al retirar esta.
- Son perpendiculares al eje de la pieza y se inclinan según el valor del cortante.

FOTOGRAFIA:

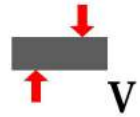


En la imagen se observa como rompe a flexión un dintel de piedra. La rotura avanzó desde la zona de tracción en el inferior hacia la zona de compresión, cesando al alcanzar la fibra neutra.

1.2.2 Daños estructurales (acciones mecánicas)	
DAÑO: Cortante	
DESCRIPCION: Cuando en una sección de un prisma de hormigón armado actúan únicamente fuerzas tangentes se dice que está sometido a esfuerzo cortante puro; pero esto en realidad no sucede, ya que siempre que hay cortante aparece un momento flector. El hormigón armado es un material cuya resistencia a cortante es pequeña y poco fiable, además se da la circunstancia de que la rotura por cortante es especialmente peligrosa y se desarrolla con tal rapidez que muchas veces no es posible tomar medidas de apuntalamiento o refuerzo que impidan el colapso. Esto hace que en las piezas de hormigón armado la función de resistir los esfuerzos cortantes la tiene la armadura, en particular la transversal (cercos o estribos). Una pieza no necesitará armadura de cortante (salvo los mínimos que correspondan) cuando las tracciones que se generen en el alma de sus secciones perpendiculares a las bielas de compresión se encuentren por debajo de la capacidad resistente del hormigón para resistirlas. Por tanto el riesgo de las fisuras por cortante es más elevado cuanto menos armadura transversal exista en la pieza, con una cuantía más elevada se obtiene mayor tiempo de aviso y en ausencia de esta armadura la rotura será inmediata, por lo que se ha de tener muy en cuenta en aquellas piezas, como viguetas, nervios o losas, que no llevan esta disposición de armado.	
DONDE APARECEN Y TIPO DE FISURA: Las fisuras producidas por esfuerzos cortantes se presentan en perpendicular a las tensiones de tracción, debido a la baja capacidad mecánica del hormigón de soportar tracciones. Aparecen en los siguientes elementos: • Vigas: Las fisuras aparecen en el alma de la viga sometida a flexión y van progresando hacia las armaduras para llegar finalmente hasta los puntos de aplicación de las cargas con lo que dividen las piezas en dos partes. En el caso de vigas sometidas a cargas uniformes la fisuración aparece próxima a los apoyos si los estribos o barras inclinadas tienen una cuantía deficiente. La orientación de las fisuras será en perpendicular a las tracciones, formando un ángulo entre 45° y 75°. • Forjados: En un forjado unidireccional el esfuerzo cortante es absorbido por el hormigón y la armadura transversal de las viguetas, pero si las viguetas no resisten, el esfuerzo lo deberá asumir solamente el macizado de hormigón dispuesto y si supera su resistencia, se produce la rotura frágil y por tanto el hundimiento instantáneo. En el caso de forjados reticulares, los nervios que llegan al ábaco, si no tienen armadura transversal, al ser estas secciones las que están sometidas a la concentración de tensiones tangenciales más importantes, pueden romper por cortante, siendo la rotura a 45°. • Pilares: Las fisuras comienzan en el centro de la pieza, progresa por sus dos extremos llegando a unir el apoyo con la carga, dividiendo en dos partes el elemento (puede llegar a ser un proceso instantáneo, por lo que es muy peligroso). No es frecuente. • Ménsulas: Son finas y con tendencia a los 45° llegando a seccionar el elemento. • Muros: Se presentan fisuras en vertical y horizontal, cerradas y en distintos planos; debidas una sección insuficiente para soportar el esfuerzo cortante o la aplicación de carga excesiva.	

1.2.2 Daños estructurales (acciones mecánicas)

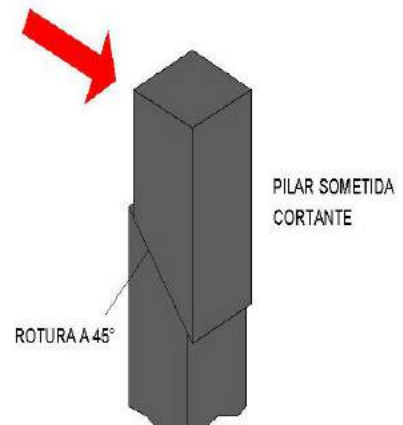
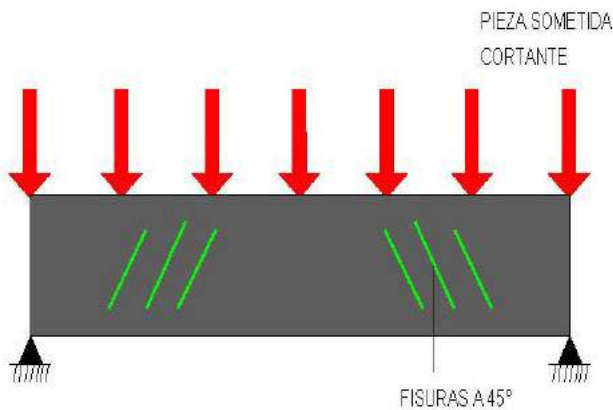
DAÑO: Cortante



RECOMENDACIONES: Se deben evitar las siguientes prácticas perjudiciales:

- Ejecución y colocación de la armadura transversal inadecuada como:
 - Colocación de estribos de menor diámetro y a mayores separaciones de las necesarias.
 - Ejecución de estribos de dos ramas cuando deberían ser de cuatro.
 - Colocación de cercos sin cerrar o con escasa longitud de anclaje.
- Secciones insuficientes.
- Hormigón de menor resistencia que el estimado en los cálculos.
- Aplicación de una carga excesiva o sobrecarga no previstas (Ej.: cambio de uso del edificio.)
- Cálculo erróneo.

CROQUIS:



- Izqda.: Fisuración por cortante de una viga. Se caracteriza por unas fisuras a 45°, que se disponen paralelas y con una separación constante, y de muy pequeño espesor.
- Dcha.: Rotura por cortante de un pilar. No es muy común, pero en ocasiones aparece en pilares extremos de la última planta, pilares sometidos a esfuerzos horizontales, pilares de edificaciones situadas en laderas con riesgo de deslizamiento, etc.

FOTOGRAFIA:



Ejemplo de rotura por cortante de una viga, con las típicas grietas a 45° que los cercos no han sido capaz de evitar.

1.2.2 Daños estructurales (acciones mecánicas)	
DAÑO: Torsión	

DESCRIPCION: La sollicitación torsora o momento torsor es producida por las fuerzas paralelas a la sección y que no cortan al eje perpendicular a ella (pares torsores, que son iguales y de sentido contrario) y aquellos momentos localizados que tengan la dirección del eje perpendicular a la sección. Los torsores producen giros, pero al igual que ocurría con otras sollicitaciones ya comentadas la torsión nunca aparece de forma independiente ya que siempre viene acompañada por otras sollicitaciones como los flectores. En cuanto al hormigón armado se deben distinguir dos situaciones de torsor bien diferenciadas:

- Torsiones principales o de equilibrio. Son aquellos casos en los que resulta imprescindible que la pieza soporte este esfuerzo para garantizar la estabilidad de la pieza, ya que en caso de fallo se produciría el colapso de la estructura; por ello resulta fundamental el armado cuidadoso para evitar riesgos. Es típica de vigas donde el forjado no tiene continuidad o voladizos solicitados excéntricamente por cargas exteriores.
- Torsiones secundarias o de compatibilidad, que surge por la necesidad de compatibilizar las deformaciones mediante rotaciones angulares de la pieza considerada con las contiguas, sin que los pares torsores sean necesarios para el equilibrio. Se da en vigas perimetrales en las que empotran viguetas de grandes luces y zunchos de borde a los que llegan los nervios de grandes luces.

La resistencia a torsión del hormigón armado es pequeña y poco fiable pero al contrario del cortante los efectos de la torsión se pueden soslayarse con disposiciones constructivas adecuadas.

DONDE APARECEN Y TIPO DE FISURA: La torsión produce fisuras a 45° que buzan en dirección opuesta en las diferentes caras de la pieza (la rotura a torsión es contraria a la de cortante, la fisura toma distinta inclinación en cada cara). Aparece en los siguientes elementos:

- Vigas de borde a las que acometen forjados de grandes luces. En este caso el forjado, ya sea unidireccional o bidireccional, le produce a la viga un giro hacia el interior de la edificación que se manifiesta con una fisura abierta en fachada y en distintos planos, que se van cerrando a medida que se acerca a los pilares. Aunque si es el último forjado si suele llegar al pilar.
- Brochales en vigas. Si estos no tienen rigidez suficiente suelen flectar, apareciendo las fisuras horizontales en distinto plano de fachadas y a nivel de forjado que se van cerrando al acercase a los pilares. Si la construcción es con muro de carga y viguetas, al levantarse las cabezas de las mismas en el apoyo, aparecen fisuras en fachada que son horizontales y abiertas en toda su longitud.
- Vigas de extremos de voladizos. Si el armado del voladizo se lleva solo hasta el nervio de borde se producirá sobre el una torsión principal. Pero si se lleva hasta la segunda vigueta se proporciona al voladizo un apoyo en el borde y otro en dicha vigueta. El voladizo se convierte en una viga biapoyada y por tanto la torsión principal pasa a ser secundaria; en este caso con una disposición correcta de la armadura se soluciona el problema.

1.2.2 Daños estructurales (acciones mecánicas)

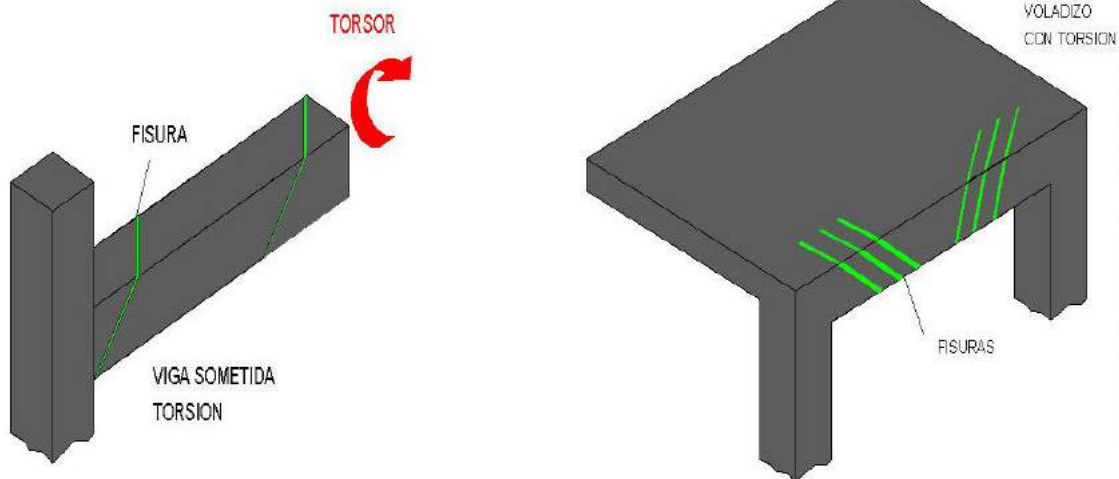
DAÑO: Torsión



RECOMENDACIONES: Se deben evitar las siguientes situaciones:

- Secciones insuficientes.
- Diseño y colocación inadecuados de la armadura:
 - Armadura transversal y longitudinal insuficiente.
 - Colocación incorrecta de los cercos.
 - Escasa longitud de anclaje.
- Ejecución de un hormigón de mala calidad.
- Cálculo deficiente: no previsión del torsor, insuficiente resistencia de la viga, etc.
- Deformaciones excesivas de forjados, zunchos, etc.
- Disposición de brochales o vigas que arriostra pórticos de luces descompensadas y no se han tenido en cuenta en los cálculos.

CROQUIS:



- Izqda.: Fisuración por torsión en una viga.
- Dcha.: Fisuración en viga que soporta un voladizo.

En ambas piezas la fisura aparecería sin apenas tiempo para poder tomar las medidas adecuadas.

FOTOGRAFIA:



Fisuración de una viga que no ha sido capaz de soportar la torsión. Se observa que en este caso dio tiempo a tomar medidas y se reforzó la viga (ver Apartado 2.3 del capítulo II) antes de que se produjese el colapso.

1.2.2 Daños estructurales (acciones mecánicas)		
DAÑO: Rasante		
DESCRIPCION: Las tensiones rasantes son provocadas por fuerzas que van en dirección de las fibras y mantienen unidas las moléculas en dirección de la fibra neutra, son iguales en módulo y de sentido contrario a las fuerzas cortantes. A esta sollicitación tangencial están sometidos elementos tales como: piezas de hormigón prefabricadas, juntas entre hormigones diferentes, uniones hormigón-acero (estructuras mixtas), etc. En edificación es frecuente el uso de piezas con secciones compuestas que están formadas por la conexión entre parte prefabricada y parte hormigonada “in situ”, teniendo ambos hormigones diferente edad así como distinta resistencia a los 28 días. Para que las piezas de este tipo funcionen adecuadamente ambos hormigones han de tener capacidad para trabajar unidos, como es el caso de los forjados con piezas prefabricadas, por la unión del hormigón de las viguetas prefabricadas y el hormigón vertido “in situ”. Otro caso significativo se da en la unión de las vigas principales a la chapa en los sistemas de forjados compuestos de chapa colaborante a través de los conectores, donde es imprescindible conseguir una adherencia entre el acero y el hormigón superior al esfuerzo rasante de sollicitación.		
TIPO DE FISURA: En el caso de piezas compuestas que trabajan a flexión se forma una fisura a lo largo de la superficie de contacto, por un deslizamiento de un plano sobre otro, dependiendo de estas se considerara la resistencia a flexión de la pieza compuesta o la de las piezas simples. En elementos sometidos a flexión simple se presentan dos tipos de unión entre la pieza de hormigón prefabricada y la del hormigón “in situ”: • Unión frágil: cuando no se dispone de armadura transversal o es de muy baja cuantía. La rotura de la adherencia de los dos hormigones se presenta de forma repentina, con un deslizamiento entre ambos muy pequeño. En el caso de que las juntas entre hormigones no tuvieran armadura de cosido o con una cuantía muy baja, la sección agotará su resistencia a rasante (sino existen tensiones normales al plano de la junta) una vez rota la adhesión entre los hormigones de la junta. • Unión dúctil: en caso de cuantías apreciables de armadura transversal. Si las piezas disponen de suficiente armadura transversal el fallo podría producirse por excesiva tracción o por compresión diagonal en vez de por deslizamiento a lo largo de la superficie de contacto. Si las juntas poseen armadura, la sollicitación transversal producirá un corrimiento relativo de sus caras, separándolas y provocando tracción en las armaduras que cosen la junta y compresión en la superficie de contacto, lo que permite que se transmitan tensiones tangenciales de una cara a la otra.		
DONDE APARECEN: • Viguetas. Mediante una rotura frágil que provoca fisuras horizontales en el extremo de esta que pueden continuar hasta el centro de la luz, pudiendo llegar a seccionar la vigueta sino se dispone de armadura transversal. Estas situaciones pueden llegar a colapsar el forjado. • Muros de contención: donde aparecen juntas de hormigonado debido al esfuerzo rasante se podrían producir entre la unión de la puntera con el muro.		

1.2.2 Daños estructurales (acciones mecánicas)

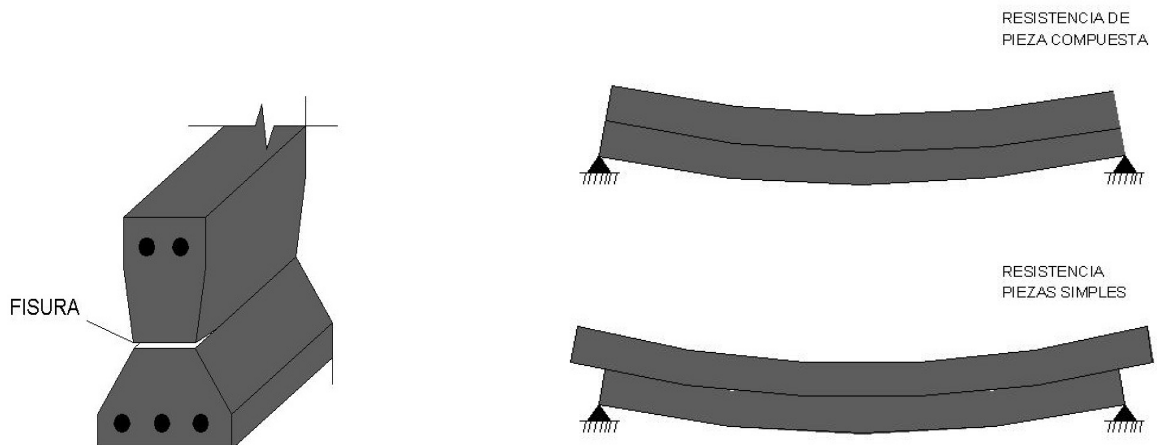
DAÑO: Rasante



RECOMENDACIONES:

- Forjados parcialmente prefabricados: resulta fundamental conseguir que la conexión entre la pieza prefabricada y el hormigón “in situ” sea capaz de transferir las tensiones rasantes derivadas del trabajo conjunto de la sección. Para ello se debe garantizar la conexión entre las piezas:
 - Empleo de elementos como conectores, pernos de anclaje, etc.
 - Si no se pueden emplear conectores se garantizará una buena superficie de contacto mediante:
 - Ejecución cuidada: limpieza, humedad de la superficie de contacto, compactación, etc.
 - Características de las piezas: rugosidad superficial, resistencia, cantidad y posición de la armadura.
- Muros de contención: garantizar una correcta ejecución en la unión de la junta del cimiento con el muro.

CROQUIS:



- Izqda: Rotura frágil de una vigueta que puede llegar a seccionarla en toda la luz.
- Dcha: Fallos de esfuerzo rasante en pieza compuesta, que debido a la falta de adherencia entre las dos piezas se produce el deslizamiento de una sobre la otra.

FOTOGRAFIA:



Este tipo de rotura es muy común en los forjados mixtos, que están compuestos por un perfil de acero y una capa de hormigón. Para garantizar la adherencia entre ambos materiales y evitar el peligro del esfuerzo rasante se colocarán a lo largo de toda la placa conectores metálicos.

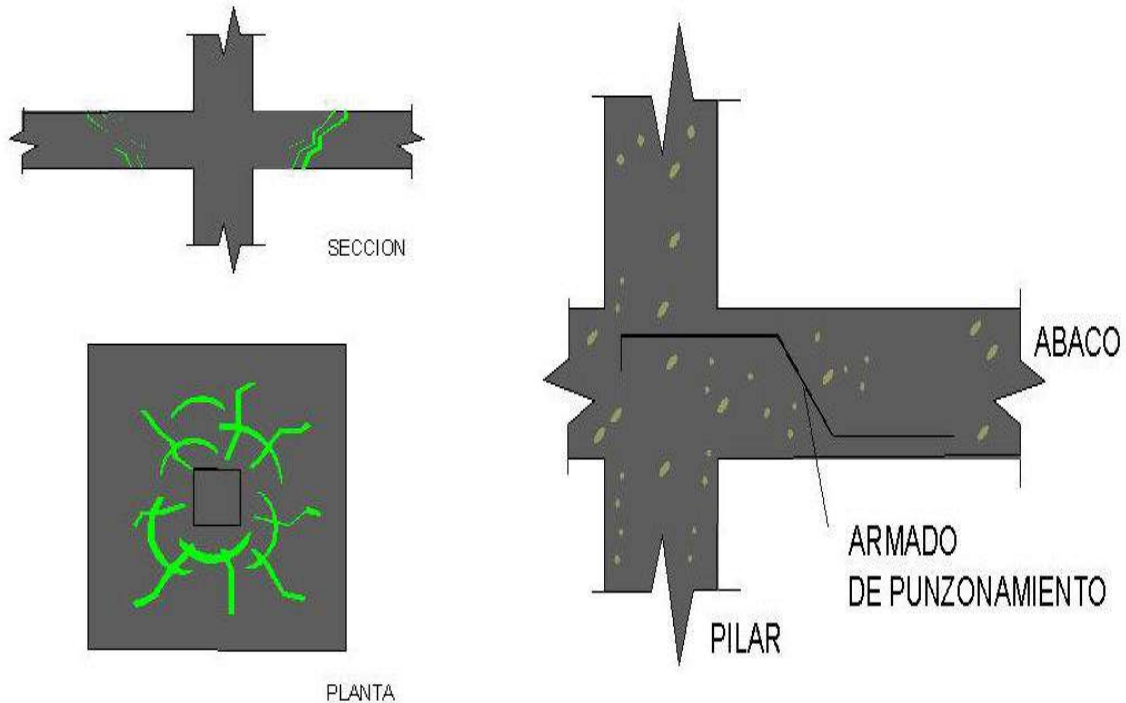
1.2.2 Daños estructurales (acciones mecánicas)		
DAÑO: Punzonamiento		
DESCRIPCION: El esfuerzo de punzonamiento se produce en una pieza por tracciones debidas a tensiones tangenciales provocadas por una carga o reacción localizada en una superficie pequeña de un elemento bidireccional de hormigón (alrededor del soporte). Por tanto, el punzonamiento se puede considerar como el efecto que produce un elemento estructural de naturaleza puntual sobre su plano de apoyo, siendo el ejemplo más representativo el encuentro de los pilares con forjados, elementos de cimentación superficial, vigas planas, etc.		
DONDE APARECEN Y TIPO DE FISURA: Hay que destacar el comportamiento frente a punzonamiento de los forjados reticulares y las losas macizas, por lo que principalmente procederemos a analizar este esfuerzo en los elementos mencionados. En este tipo de forjados el daño se caracteriza por una rotura de la placa alrededor del pilar en el que apoya de forma troncopiramidal o troncocónica (según el pilar sea rectangular o circular) cuya directriz es el área cargada. La superficie de rotura es la superficie crítica de punzonamiento, que arranca del perímetro donde apoya la losa y se eleva con una inclinación de 30° – 45°. Las roturas se producen bruscamente, sin previo aviso, con consecuencias verdaderamente trágicas, habiéndose producido numerosos hundimientos de forjados, muchas veces originados por no poder apreciarse a tiempo la aparición de fisuras al quedar oculto por el pavimento. Por tanto si se detecta un riesgo de punzonamiento se deberán tomar inmediatamente medidas de apuntalamiento. Al igual que en los forjados, en las cimentaciones se pueden producir fisuras de ancho variable, entre los 0.3 y 0.5 mm, con un plano de rotura que sigue una forma troncopiramidal variando el ángulo entre los 30°– 35°, pudiendo el plano no arrancar de la intersección del pilar con la zapata, sino algo más separado.		
RECOMENDACIONES: Se deben evitar situaciones como las siguientes: • Aumento de cargas que ha de soportar la losa, superando la sobrecarga para la que ha sido calculada. • Presencia de huecos en zonas próximas a los pilares. • Cálculo incorrecto (no definir espesores y pesos de pavimentos para poder tenerlos en cuenta en el cálculo estructural) • Incorrecto planteamiento previo en proyecto de las armaduras: escasez o ausencia de armadura de punzonamiento, etc. • Defectos de ejecución: colocación de estribos, anclajes, recubrimientos, fallos de soldadura de los elementos metálicos en conexión con las losas de hormigón, encofrado de pilares penetrando en la losa, etc. • Falta de resistencia del hormigón. • Corrimiento de la armadura de punzonamiento. • Valoración inadecuada de los posibles momentos flectores (infravaloración).		

1.2.2 Daños estructurales (acciones mecánicas)

DAÑO: Punzonamiento



CROQUIS:



- Izqda: Aspecto esquemático de las fisuras en la denominada área crítica de punzonamiento. Esta área se define según la EHE (Art. 46.1) a una distancia igual a $2d$ desde el perímetro del área cargada o del soporte. (d = canto útil de la losa)
- Dcha: Disposición de la armadura de punzonamiento. Cuando por razones económicas no se puede alcanzar un canto de losa capaz de absorber los esfuerzos de punzonamiento, se deberá cuidar al máximo la disposición de estribos y barras inclinadas (a 45°) tanto a nivel de proyecto como de ejecución.

FOTOGRAFIA:



En la foto se observa la rotura de un tablero de un puente por punzonamiento. El puente fue diseñado con hormigón de alta resistencia, pero esto no sirvió de nada ya que el espesor del tablero no fue el adecuado para los esfuerzos tan concentrados que soportaba.

1.3 Daños causados por acciones extraordinarias.	1.3.1 a
1.3.1 a 1.3.7 Fuego, Sismo, Impactos, Suelos, etc.	1.3.7
INTRODUCCION: Una vez estudiadas las acciones permanentes y las variables que pueden ocasionar patologías en las estructuras de hormigón armado, se deben estudiar ahora aquellas acciones cuya aparición es poco probable pero que pueden llegar a colapsar o destruir la estructura. Estas acciones las denominamos extraordinarias (o tambien accidentales) y pueden obedecer a causas naturales, como son los terremotos, o causas no naturales como puede ser el impacto de un proyectil o una explosión terrorista. Este tipo de acciones aun siendo poco probables exigen un estudio exhaustivo, y en el caso de que una estructura pueda estar sometida a algún tipo de estas acciones se tomarán las medidas adecuadas para evitar los posibles efectos que pueda producir. Finalmente tambien se hará mención a algunas situaciones no tienen que ver con acciones extraordinarias pero que su aparición tambien puede ocasionar graves daños como son la aparición de flechas excesivas, y otras situaciones de menor riesgo como es la decoloración de una fachada de hormigón por la suciedad. Las situaciones que se estudian son las siguientes: 1. Fuego 2. Sismo 3. Impactos • Explosiones • Proyectiles y metralla • Vehículos 4. Empuje del terreno 5. Asientos del terreno 6. Suelos expansivos 7. Otras situaciones capaces de producir daños • Ausencia de mantenimiento • Meteorización y cambio de color • Deformaciones excesivas: flechas • Degradación del hormigón de cemento aluminoso • Otros fenómenos	

1.3.1 Fuego



DAÑO: Fuego

DESCRIPCION: Cuando una estructura de hormigón armado se ve sometida a la acción del fuego, los elementos que la componen se ven sometidos a transformaciones de efectos negativos. Por tanto, antes de estudiar el comportamiento del hormigón armado conviene estudiar los efectos del fuego en el acero y en el hormigón por separado:

Acción del fuego sobre el hormigón: El comportamiento del hormigón es relativamente bueno gracias a su bajo coeficiente de conductividad térmica y a que este disminuye conforme aumenta la temperatura hasta valores de un tercio del inicial. Debido a esto la diferencia de temperatura entre el núcleo de la pieza con la superficie es importante, hecho que marcará la forma de proteger las armaduras de acero del fuego. En los cuadros se observa como el aumento de temperaturas va causando pérdidas graduales de resistencia y de coloración, aspecto este último importante porque este cambio de tonalidad se conserva una vez finalizado el incendio permitiendo al técnico valorar el grado de pérdida de resistencias de la estructura afectada. Otra de las ventajas del comportamiento del hormigón es que en el caso de no superar temperaturas superiores a 500°C se puede producir una rehidratación posterior al incendio que puede hacer recuperar el 90% de las resistencias al cabo de un año, pero de todos modos la ganancia de resistencias al enfriar es pequeña y depende también de la velocidad de enfriamiento.

- Cuadros que muestran el comportamiento del hormigón y de los áridos que lo conforman:

TEMPERATURA	MODIFICACION	CONSECUENCIA
100°C	Evaporación del agua capilar	Retraso del aumento de temperatura
200°C–300°C	No hay más agua, pero no aparecen alteraciones del cemento hidratado ni descenso de resistencias	
300°C–400°C	Pérdida del agua de gel del cemento	Pérdida de resistencias y aparición de fisuras
450°C	Parte del Ca(OH)_2 se transforma en CaO	
600°C	Áridos de distinto coeficiente dilatación se expanden al cambiar su estructura interna	Aumento de tensiones internas que producen la disgregación

TEMPERATURA	COLOR	R. COMPRESION
200°C	Gris	100%
300°C	Rosáceo	90%
300°C–600°C	Rosa a Rojo	50%
600°C–950°C	Gris con puntos rojos	casi nula
950°C–1000°C	Amarillo anaranjado	sinterización
1000°C–1200°C	Amarillo claro	0%

INFLUENCIA DE LA NATURALEZA DEL ARIDO	
TIPO DE ARIDO	COMPORTAMIENTO
Cuarzo	Fisuran a mas de 500°C
Basalto	No sufren daños
Calizos	Buen comportamiento
Ligeros artificiales	Similar a los de cuarzo
Ligeros naturales	Buen comportamiento

1.3.1 Fuego



DAÑO: Fuego

Acción del fuego sobre el acero: Las propiedades mecánicas del acero disminuyen con el aumento de la temperatura, pero los aceros dulces y los de dureza natural presentan la capacidad de recuperar parte de su capacidad resistente cuando se enfrían siempre que las temperaturas no hayan pasado de los límites indicados en los cuadros. Por el contrario los aceros trefilados en frío al someterse a elevadas temperaturas se transforman en aceros originales volviendo a tener las propiedades que poseían antes del tratamiento del estirado por lo que no recuperan las resistencias al enfriarse.

COMPORTAMIENTO DEL ACERO ANTE EL FUEGO	
TEMPERATURA	MODIFICACIONES
>400°C	Alteración cristalina del acero que causa un aumento del tamaño de los granos y descenso de la tensión de rotura.
400°C–800°C	Continúa la pérdida de resistencias a tracción, pero con un enfriado posterior de forma lenta al aire permite recuperar gran parte de su resistencia inicial
>800°C	El acero muestra una marcada pérdida de resistencia al enfriarse
>1000°C	La resistencia a tracción apenas alcanza el 25% de la inicial

Los factores que influyen en la elevación de la temperatura del acero en el hormigón son:

- La intensidad del fuego.
- La masa de la pieza (relación volumen–superficie expuesta al fuego), a mayor masa más despacio de calentará el hormigón.
- La presencia de pantallas que aseguren la protección frente al aumento de las temperaturas. El hormigón del recubrimiento juega un papel fundamental de ahí la importancia de garantizar espesores adecuados.

Acción del fuego sobre el hormigón armado: En el hormigón armado al estar formado por dos materiales diferentes se debe considerar el trabajo de estos dos materiales conjuntamente frente al fuego. Sabiendo que el más débil es el acero resulta fundamental la protección de este con recubrimientos apropiados e incluso a veces con aislantes térmicos. Los efectos más peligrosos del fuego en el hormigón armado son:

- Aumento de temperatura que provoca que el coeficiente de dilatación térmica del acero aumente llegando a ser hasta treinta veces mayor que el del hormigón. Esto genera tensiones que pueden hacer saltar los recubrimientos, quedando expuesto el acero a la acción del calor pudiendo alcanzar la tensión de rotura y el consiguiente fallo si se alcanza la temperatura crítica ($\pm 500^{\circ}\text{C}$).
- Pérdida de adherencia entre el hormigón y el acero por el aumento de temperatura. Esta pérdida sigue un paralelismo respecto a la pérdida de resistencias hasta llegar a los 400°C , pero a temperatura mayores la adherencia va decreciendo hasta llegar a 600°C – 800°C que es casi nula. En la pérdida de adherencia también influyen el diámetro de las barras (mayor diámetro, mayor pérdida), tipo de árido, resistencia a compresión, dimensiones de pieza, estribos, etc.

1.3.1 Fuego



DAÑO: Fuego

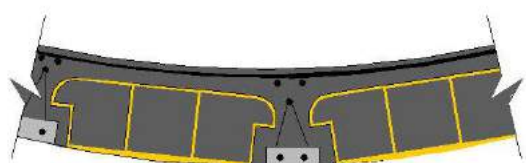
DAÑOS QUE PRODUCE EN LAS ESTRUCTURAS:

- Pilares: las barras se dilatan, pandean y hacen saltar los recubrimientos dando lugar a que la resistencia de los mismos disminuya tanto que pueda producirse el colapso de estos. Además de esto el acero sufre una pérdida apreciable de resistencia lo que provoca que el hormigón quede sobrecargado pudiendo llegar a alcanzar la resistencia última y colapsar. Por otra parte la dilatación de las vigas ocasiona un aumento de esfuerzos y momentos adicionales no previstos en los pilares pudiendo agotarse. Un aspecto importante es que estos efectos pueden aparecer diferidos en el tiempo, por lo que resulta vital vigilar la evolución posterior al incendio de la estructura.
- Vigas: Aparecen mediante fisuras de retracción por la dilatación y posterior acortamiento de las piezas; o también mediante fisuras de flexión o cortante por la dilatación de las barras de armado de las vigas. Por otro lado el agotamiento de un pilar o rotura en continuidad de alguna viga puede ocasionar movimientos horizontales que provoquen estas fisuras.
- Losas y forjados: Debido a su pequeño espesor y recubrimiento la armadura sufre más que en las vigas o pilares. La dilatación del acero en las zonas de momento positivos provoca el desprendimiento del hormigón y pérdida de adherencia de las barras. La acción combinada de estos factores provoca flechas inmensas en forjados, formación de huecos ovalados en el centro del mismo, e incluso hundimientos encima del lugar ocupado por los focos caloríficos.

RECOMENDACIONES:

- Usar áridos de baja coeficiente de dilatación térmica (calizo, árido ligero, etc.).
- Granulometrías adecuadas.
- Compactación adecuada.
- Baja conductividad térmica.
- Humedad baja.
- Uso de cementos de escorias o puzolánicos.
- Se comportan mejor los hormigones con alta resistencia a tracción.
- Garantizar los recubrimientos como capa protectora del acero.

CROQUIS:



EFFECTO DEL CALOR

Los forjados y losas expuestos a las llamas en su cara inferior sufren dilataciones que ocasionan su curvado o el desprendimiento de bovedillas.

FOTOGRAFIA:

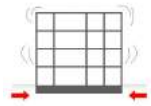


Muro de hormigón que tras sufrir temperaturas de 300°C cambia su coloración a rosa.

1.3.2 Sismo	
DAÑO: Sismo	
DESCRIPCION: Se produce un sismo cuando dos o más planos de fractura de la corteza terrestre (fallas) deslizan uno sobre otro, tanto horizontalmente como verticalmente, produciéndose una vibración que se propaga en todas direcciones. Las estructuras que se encuentren sometidos a estas vibraciones sufrirán una serie de daños, que dependerán de la capacidad de absorción de energía que posea dicha estructura. La norma sismorresistente NCSE-02 de obligado cumplimiento establece una serie de disposiciones para garantizar un correcto diseño frente al sismo que se basa en dos aspectos fundamentales: • Pérdida de la rigidez de la estructura para que vibre con deformación y aceleración creciente desde la planta baja hasta la última. Cuanto mayor sea la flexibilidad, la deformabilidad y más alto sea el periodo de vibración natural; menor será la aceleración y la fuerza que sufrirá la estructura. • Aumento de la ductilidad para que esta deformación no dañe la estructura o provoque su colapso.	
DAÑOS Y EFECTOS QUE PRODUCE EN LAS ESTRUCTURAS: Los daños producidos por los terremotos dependen de varios factores como: la fuerza y duración del movimiento, el tipo de suelo, la tipología de la cimentación y de la estructura, etc. Los daños más comunes son: • Hundimiento por licuación del terreno. • Vuelco de la edificación. • Aplastamiento de las plantas. • Desmoronamiento de las edificaciones construidas con muros de carga. • Resonancia de la estructura. • Desplazamiento de las estructuras. • Deformaciones verticales por asiento de la cimentación al perder apoyo el terreno. • Rotura por aplastamiento y por cortante de pilares. • Desprendimiento de aplacados sobre pilares y forjados. • Pérdida de adherencia de los pilotes con el terreno durante la vibración y pérdida de apoyo de las zapatas. • Desprendimiento de cerramientos de plantas altas y fisuras de tracción diagonal. Los efectos más comunes son: • Pilares: aumento de axiles, momentos y cortantes. • Vigas: aumentan los momentos negativos, positivos y cortantes. Aparecen en éstas, flexiones laterales provocadas por el empuje transversal que le produce el forjado. • Vigas con brochales: aparición de fuertes flexiones laterales. • Viguetas: por causa del empuje horizontal en sentido transversal al pórtico, aumentan los momentos y cortantes. • Voladizos: por causas de las vibraciones están expuestos a trabajar de forma invertida. • Cimientos: aumentan las cargas durante el transcurso del sismo.	

1.3.2 Sismo

DAÑO: Sismo



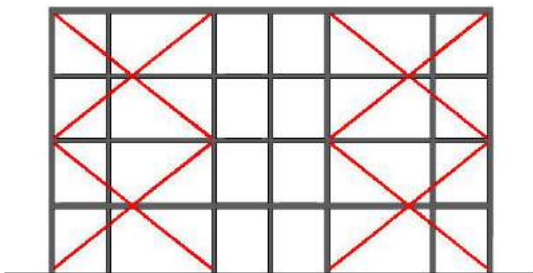
RECOMENDACIONES: Del estudio de los edificios destruidos por sismo se extraen que las siguientes prácticas favorecen la aparición de daños, por tanto debemos evitarlas:

- Deficiente concepción estructural de los mismos.
- Armado deficiente e inadecuado:
 - Falta de atado de los elementos.
 - Escasez de estribos que permiten el pandeo de la armadura longitudinal.
 - Falta de confinamiento del hormigón del núcleo.
- Deficiente calidad del hormigón.
- Asimetría estructural por variaciones de la rigidez.
- Existencia de masas elevadas.
- Geometría inadecuada.
- No cumplimiento de la normativa sismorresistente.

Por otra parte para garantizar los dos aspectos fundamentales de ductilidad y rigidez es recomendable:

- Para la ductilidad se deben armar adecuadamente las zonas y nudos críticos de la estructura.
- Para la rigidez a fin de lograr su estabilidad de la misma frente a las deformaciones a las que va a estar sometida, se debe lograr mediante pantallas verticales que actúen como vigas en voladizo y que están sometidas a flexión y cortante, y mediante entramados o elementos horizontales que aten a la estructura y distribuyan las fuerzas laterales hacia los elementos de arriostramiento vertical, y buscando siempre que exista una canalización de estas fuerzas hacia el terreno.

CROQUIS:



RIGIDIZACION DE UNA ESTRUCTURA

Un sistema muy eficaz y barato para rigidizar una estructura es mediante cruces de San Andrés con cables pretensados tesados a la mitad de su límite elástico. Estos en caso de sismo al quedar un brazo comprimido no se produce su agotamiento por pandeo, ni al quedar tensionado por tracción la superación de su límite elástico.

FOTOGRAFIA:

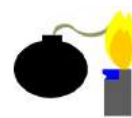


En la imagen se observa el colapso por sismo de un pilar circular de la planta baja.

1.3.3 Impactos		
DAÑO: Impactos		
DESCRIPCION: Cuando una estructura de hormigón armado sufre un impacto el fenómeno que se produce consiste en la transformación de la energía cinética del cuerpo impactante en energía de deformación del mismo (cuando el cuerpo es deformable), o en energía de deformación que absorbe la estructura (cuando el cuerpo que impacta es muy rígido).		
TIPOS: Destacan los siguientes impactos que pueden afectar a la estructura: • Explosiones: Consiste en una liberación de energía con una repentina subida de presión y temperatura en el aire próximo al punto de explosión, creando una onda móvil de presión que se aleja del origen. Debido a que la temperatura en este punto es muy alta los gases progresan con un fuerte de alta presión. Si en su avance la onda de choque incide sobre un elemento se produce distribución de presiones sobre el mismo. Esta distribución consiste en una alternancia de presiones positivas y negativas pueden llegar a provocar su agotamiento acompañado de su disgregación con proyecciones a alta velocidad de algunos de sus fragmentos. Las explosiones más comunes son las de gas (ciudad, bombonas de butano o propano, etc.) y tambien las que más daños producen en las estructuras por encima de las explosiones por detonación típicas de actos terroristas. Por otra parte las de gases tienen la ventaja de que la velocidad de combustión es mas reducida que de la de los explosivos, de forma que la presencia de aberturas, ventanas, puertas e incluso muros cortina reduzca la presión generada. • Impacto de proyectiles y metralla: El mecanismo de la acción de los explosivos es totalmente diferente al de los impactos sobre el hormigón armado. En general se traduce en la rotura del material por agotamiento de su capacidad resistente, haciendo que parte de este desaparezca si la acción es fuerte o que quede muy dañado con gran cantidad de fisuras y con cráteres importantes en el caso de proyectiles, causando el desprendimiento de hormigón en la parte opuesta a la penetración del proyectil. El nivel de daños dependerá de la forma y dimensiones del proyectil y pieza, de la deformabilidad del proyectil y de la rigidez de la estructura; pudiendo producirse desde pequeños daños localizados hasta daños mas generalizados llegando incluso al colapso. • Impacto de vehículos: El impacto de vehículos sobre una estructura, sea alta o baja, puede producir daños importantes o incluso destruirla como ocurre en el caso de aviones o helicópteros; donde al propio impacto se añade la explosión que produce el impacto y el posterior incendio del combustible. Los efectos producidos dependen de la rigidez de la estructura que sufre el golpe y de la masa y velocidad del vehículo; por otra parte se observa que si en el impacto el vehículo no lleva la carga anclada al bastidor o dispone de un sistema de amortiguador de cargas los efectos son mucho menores que en caso contrario.		

1.3.3 Impactos

DAÑO: Impactos



DAÑOS: Resulta complejo establecer un cuadro de daños provocados por la acción de impactos debido al gran número de factores que intervienen; de aquí que los daños puedan variar desde una fisura hasta la desaparición de elementos que causan el colapso, pasando por la rotura puntual del hormigón en forma de cráteres, rotura de elementos, etc. De los tres tipos de impactos estudiados destacan:

- Explosiones: Los efectos son variables dependiendo de la cantidad de explosivo, su naturaleza, la distancia de la explosión, características del hormigón como cuantía, forma de armado y tipología estructural. Los daños, sobre todo en las zonas de mayor superficie como techos, suelos, etc., van desde deformaciones, desintegraciones e incluso voladuras que provocan la destrucción total.
- Proyectiles: De igual forma dependen del calibre, de la carga, de la velocidad o del ángulo de incidencia de los mismos. Los daños variarían entre pequeños cráteres o el atravesar piezas de hormigón de pequeño espesor hasta afectar a elementos fundamentales como pilares o vigas.
- Vehículos: Producen mayores daños que los proyectiles normales no solo por su tamaño y por la presión que producen en la estructura, sino por la posibilidad de incendio del combustible.

RECOMENDACIONES: Para evitar los daños que puedan producir los impactos se deben proyectar las estructuras de forma que si una parte de un elemento o elementos completos fallan, el resto de la estructura sea capaz de proporcionar pasos alternativos a las cargas que aparezcan como consecuencia de las partes que han fallado. Algunas recomendaciones son:

- Rigidez y ductilidad de los nudos (sobre todo de vigas y pilares), para absorber la energía del impacto mediante una deformación sin llegar a la rotura; y creando trayectorias alternativas para el reparto de las cargas en caso de fallo de un elemento.
- Empleo de juntas que dividan el edificio en varios bloques.
- Atado de todos los elementos para que en caso de que se produzca una pérdida de estabilidad de un elemento esencial no se produzca el colapso de la estructura.
- Tipologías estructurales óptimas. La respuesta de una estructura de vigas y pilares es más segura que una de pilares y forjados planos ya que en caso de fallo el colapso es más probable.

FOTOGRAFIA:



En la fotografía se observa el estado en el que quedó un pilar de la planta baja de una estructura tras sufrir el impacto de una losa de hormigón que se desplazó como consecuencia de la riada provocada por la rotura de un depósito de agua. Tras el fuerte golpe el pilar pasó a trabajar a tracción, estado tensional para el que no estaba diseñado, además de sufrir pequeños desprendimientos de hormigón dejando las armaduras al aire.

1.3.4 Empuje del terreno	
DAÑO: Empuje del terreno	
DESCRIPCION: Por muro de contención se entiende todo elemento que se proyecta y construye para soportar los empujes de las tierras, y con frecuencia tambien empujes de agua. De entre los muchos tipos de muros de contención de tierras que existen destacan dos grupos: • Muro de gravedad: confían en su propia masa para soportar la tendencia a deslizar hacia delante que le provoca el terreno. Se consideran antieconómicos, y se suelen revestir con otros materiales por razones estéticas, ya que estos revestimientos no aumentan su resistencia. • Muros de contención a flexión: resultan económicos a partir de 1,20 m. de altura. Su funcionamiento se basa en el principio del brazo de palanca. El fuste se considera como un voladizo empotrado en la zapata, y la zapata se diseña como un voladizo empotrado en el fuste. A simple vista parecen elementos de poca importancia pero en ocasiones resultan vitales, y es quizás por ello por lo que sufran con frecuencia daños que van desde grietas y deformaciones hasta casos mas graves como vuelco de una parte del muro o la caída de todo el conjunto. Estos fallos tienen orígenes diversos, en relación con errores de dimensionamiento de las obras o deficiencias en su realización pero, en todos los casos, aparecen dos fuentes generadoras de la acción: el empuje del terreno y la acción del agua.	
DAÑOS Y ORIGEN DE LOS MISMOS: Como ya se ha comentado resulta fundamental entender el empuje para conocer la forma de evitar las patologías que el terreno puede ocasionar en los muros de contención. Pero antes de definirlo es preciso estudiar, en ensayos de laboratorio, dos parámetros importantes del terreno: • Densidad del suelo. Como cualquier densidad consiste en la relación entre el peso de las partículas del terreno y el volumen que estas ocupan. Cuanto mayor sea mayor será el empuje. • Ángulo de rozamiento interno del suelo. Representa la manera en que los granos constitutivos del suelo actúan unos sobre otros para conferir al conjunto una estabilidad propia más o menos pronunciada. El empuje del terreno es mayor cuanto más bajo es dicho ángulo; además cualquier variación de este puede producir una gran diferencia en la intensidad del empuje. Estudiados estos dos parámetros es preciso comprender el funcionamiento del empuje del terreno sobre el intrados de cualquier muro de contención, recurriendo a las teorías de Coulomb. Estas explican que cuando un muro entra en carga experimenta en primer lugar un ligero desplazamiento en coronación, provocando la formación de un triangulo de terreno independiente del resto, que constituye enseguida el único elemento activo del esfuerzo. Esta acción, que se ejerce en toda la altura, puede sustituirse por la aplicación de una fuerza horizontal, llamada resultante del empuje, en el tercio inferior del muro (su valor es función de los parámetros del terreno antes descritos). El empuje junto a la fuerza vertical estabilizadora que forma el peso de la obra generaran una resultante como muestra el triangulo de fuerzas (ver croquis). Para garantizar la estabilidad del muro esta resultante deberá pasar por el tercio central de la zapata, porque de lo contrario el muro puede sufrir desde una ligera inclinación hasta el vuelco. Por otra parte se debe cuidar la presencia de agua, que si bien disminuye la densidad del terreno y por tanto su empuje, pero añade el peso del agua que no es poco.	

1.3.4 Empuje del terreno

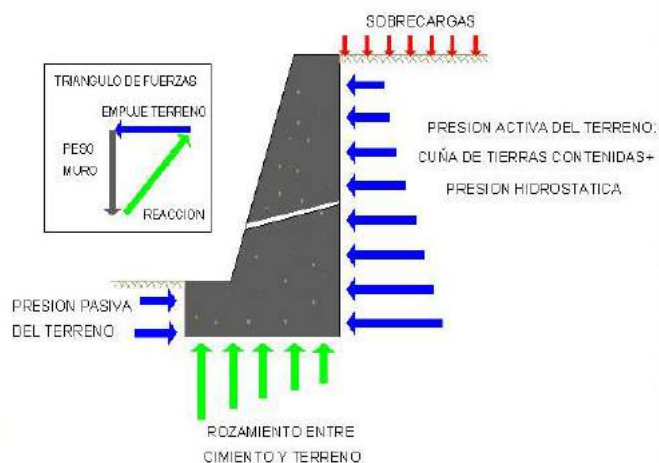
DAÑO: Empuje del terreno



RECOMENDACIONES: Algunas recomendaciones para la buena realización de muros:

- Diseño y calculo del muro deben ser realizados por profesionales, y no deben descuidar:
 - El muro no vuelque ni deslice hacia delante.
 - Los materiales sean adecuados y no se produzcan tensiones excesivas.
 - No sobrecargar el subsuelo.
 - En subsuelos arcillosos muy blandos, que el círculo de rotura no corte al muro produciendo el colapso del conjunto, aun sin romper el muro.
- Realización de un estudio exhaustivo del terreno para conocer:
 - Naturaleza y características del subsuelo.
 - Nivel de la capa freática: la presencia de agua en el subsuelo puede producir presión hidrostática en la cara posterior del muro, tambien puede afectar a la capacidad portante del subsuelo, a su resistencia a cizallamiento, reducir la fuerza de rozamiento entre la cara inferior del cimiento y el subsuelo, y disminuir la presión pasiva delante de la puntera.
- Ejecución de huecos o mechinales para evacuar el agua que se acumula en el intrados del muro.
- Ejecución de sistemas de drenaje de agua, para evitar la saturación del terreno que pueda modificar el ángulo de deslizamiento con el evidente riesgo de que deslice el conjunto.
- Evitar la aplicación de sobrecargas en el terreno medianero.

CROQUIS:



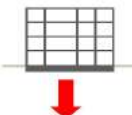
El triángulo de fuerzas está compuesto por:

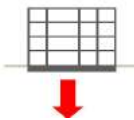
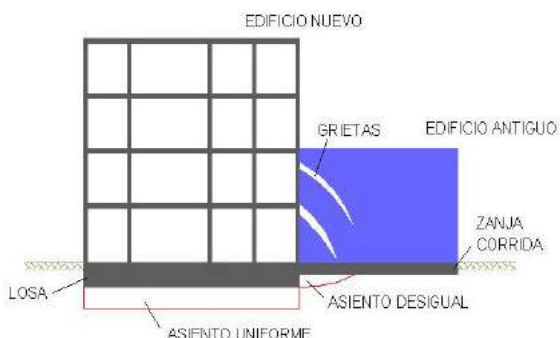
- Presión activa, que tiende a mover el muro.
- Peso propio del muro, que actúa hacia abajo.
- Reacción entre el cimiento y el terreno, ha de pasar por el tercio central de la zapata.
- Presión pasiva, confiere estabilidad oponiéndose al movimiento del muro.

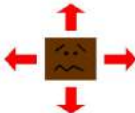
FOTOGRAFIA:

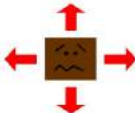
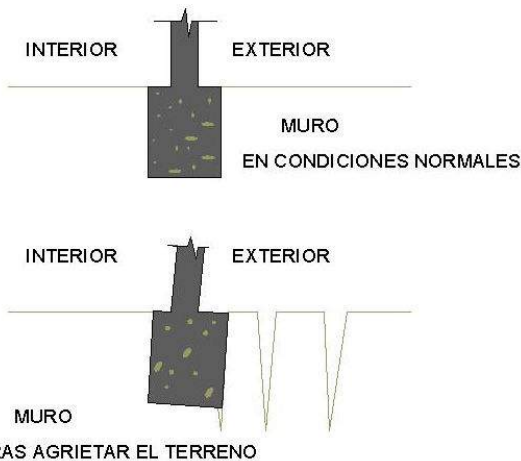


Inicio de vuelco en dos muros de contención, causado por el empuje activo de las tierras y tener una cimentación insuficiente para soportar dicho empuje.

1.3.5 Asientos del terreno	
DAÑO: Asientos del terreno	
DESCRIPCION: La función de todo cimiento es la de soportar y transmitir al terreno sobre el que descansa la combinación de cargas debidas al peso propio y a las sobrecargas, de forma que no se produzcan asentamientos diferenciales u otros movimientos que puedan comprometer la estabilidad o causar daños. El subsuelo sobre el que descansa el cimiento es comprimido y reacciona ejerciendo una presión hacia arriba para resistir la carga del cimiento. De esta forma se crea un equilibrio de fuerzas entre estructura, cimiento y suelo, pero cuando alguno de estos tres factores se desequilibra, sufre alguna variación, etc. se rompe este equilibrio y surge el riesgo de producirse asientos o movimientos. Las condiciones básicas para que se produzca un asiento se pueden resumir en tres: • Arcillas compactables. La primera de las condiciones se refiere a la compresibilidad (compactabilidad) de las arcillas, característica que esta ligada a su grado de consolidación. De este modo se muestran mas peligrosas las arcillas jóvenes que no han tenido tiempo (geológico) suficiente de compactación por parte de estratos de mayor peso. Por tanto las arcillas presentan una compresibilidad más o menos acusada, que las hace especialmente sensibles a la nueva puesta en carga que representa la nueva edificación. • Cargas irregularmente repartidas. El hecho de que las cargas transmitidas por la construcción no estén distribuidas uniformemente entre distintos puntos de apoyo genera un desequilibrio de esfuerzos en el suelo que provoca los denominados asientos diferenciales. • Estructuras frágiles. La mayor o menor deformación que puedan sufrir los elementos de la construcción (fachadas, solados, alicatados, etc.) tras un asiento diferencial dependerá de la capacidad de absorber dichas deformaciones. De la aparición de estas tres condiciones se producirán los asientos del terreno que provocaran todo tipo de fisuras en forjados, tabiques, etc.	
FALLOS Y EFECTOS QUE PRODUCEN: De los distintos fallos que pueden aparecen destacan: • Excavaciones a cota inferior a la cimentación medianera sin tomar precauciones. • Construcción de cimentación de dimensiones inferiores a las necesarias. • Omisión de vigas centradoras, con escasa armadura o con insuficiente rigidez. • Cimentar sobre restos de otras edificaciones. • Cimentar en terreno inclinado (peligro de deslizamiento y asiento). • Cimentar en terrenos sin consolidar. • Apoyar el cimiento sobre la cimentación del edificio medianero. • Corrientes de agua bajo la cimentación con arrastre de tierras, o existencia de pozos. • Roturas de las redes, que inundan el terreno y modifican la consistencia del terreno. • Oquedades bajo la cimentación. • Elevación o inclinación por expansividad (ver 1.3.6). • Excavación de sótanos contiguos sin tomar medidas.	

1.3.5 Asientos del terreno		
DAÑO: Asientos del terreno		
FALLOS Y EFECTOS QUE PRODUCEN: • Corrosión de la armadura de la zapata por estar en terrenos yesíferos. • Desagregación del hormigón por ataque químico (aguas residuales, productos del exterior). • Asiento por desecación o retracción del terreno. • Asiento por construir de forma inadecuada las zapatas que forman las juntas de dilatación. • Asiento por aumentar el número de plantas. • Asiento por variaciones del nivel freático que modifican las propiedades del terreno. Entre los distintos efectos que suelen producir los asientos del terreno destacan: • Asientos diferenciales. • Levantamientos. • Grietas en muros, cerramientos y tabaquería. • Rotura de vigas y pilares cuando el asiento es mas acentuado. • Inclinación de forjados. • Desplomes. • Descuadre de puertas y ventanas, con dificultad para abrirlas y cerrarlas.		
RECOMENDACIONES: Entre las distintas prácticas se recomienda: • Realización del estudio geotécnico, Además de que es obligatorio resulta incomprensible querer ahorrarse unos euros en un estudio de este tipo cuando las posibles reparaciones que puedan precisarse en un futuro pueden suponer un coste diez veces mayor. • Cálculo y diseño adecuados según las condiciones del terreno y los esfuerzos a soportar. • Evitar las modificaciones de la obra no consideradas en el proyecto.		
CROQUIS:  Al asentar el edificio nuevo tambien se produce un asiento bajo la cimentación de la zanja corrida del existente dejando el cimiento sin apoyo y en voladizo, que provoca la aparición de grietas.	FOTOGRAFIA: 	El asiento de la cimentación al asentar el terreno de relleno de ladera donde estaba construido provocó las grietas de tracción diagonal y que los pilares cuelguen de la estructura.

1.3.6 Suelos expansivos	
DAÑO: Suelos expansivos	
DESCRIPCION: Los suelos arcillosos expansivos tienen como característica principal la capacidad de hinchar o asentar en presencia de humedad, y de retraerse o agrietarse cuando les falta agua. Estas variaciones de volumen del subsuelo sobre el que apoya una cimentación pueden provocar asentamientos diferenciales de dicha cimentación, fenómeno que puede llevar a la estructura a soportar esfuerzos superiores a los previstos en cálculo y por tanto producir patologías no previstas. La mayor o menor expansividad de un terreno se puede determinar a través de ensayos en laboratorios (granulometrías, límites de Atterberg, edómetro, etc.), pero a simple vista se puede determinar por las siguientes características: • Cuando está humedecido es pegajoso, moldeable, se puede amasar con las manos, es resbaladizo y deja huellas muy marcadas tras pisadas o paso de vehículos. • Cuando está seco es duro y aparece fisurado o agrietado en la superficie pudiendo partirse con las manos con cierta dificultad. • En invierno no suelen existir hormigueros en este tipo de terrenos porque al hincharse el terreno termina comprimiéndolos y cerrándolos. Las grietas que sufren los terrenos expansivos aparecen en las capas superiores y se van cerrando a medida que se desciende hasta desaparecer aproximadamente a un metro antes de llegar a la denominada profundidad activa, que es aquella donde el terreno tiene una humedad constante. Generalmente las grietas no superan los tres o cuatro metros de profundidad, siendo por tanto mayor el riesgo cuanto más superficial sea la cimentación. Esta es la explicación de que las patologías causadas por este tipo de terrenos sea común en viviendas aisladas de poco peso, en vallas de obra de fabrica y en aceras; todos elementos de cimentaciones muy superficiales.	
DAÑOS: El origen de las patologías por arcillas expansivas, depende directamente de tres factores que pueden interaccionar entre si y que son: la naturaleza geológica y geotécnica del suelo, el grado de expansividad a determinar mediante los ensayos antes mencionados; y los cambios de humedad, dependiendo en la estación en que nos encontremos o por otros factores externos como la rotura de tuberías de saneamiento, etc. Los daños más comunes son: • Grietas verticales e inclinadas en ambos sentidos: este tipo de suelos provocan problemas de cedimiento de la cimentación en la parte central del edificio, combinado con el cedimiento de la cimentación en dos extremos al mismo tiempo. Esto se manifiesta en fisuraciones en los paramentos de fachada. • Fisuración y rotura de elementos estructurales: fisuraciones de cortante en nudos de entramado, trabajo en ménsula con grietas horizontales y/o inclinadas, rotura de forjados, vigas, muros de carga con grietas horizontales e inclinadas, etc. El asiento diferencial excesivo da lugar al movimiento de los pilares o grupos de pilares, superándose el límite elástico de algunos elementos estructurales. Estos daños se manifiestan en principio en las fachadas ya sean portantes o no con las grietas estudiadas en el punto anterior.	

1.3.6 Suelos expansivos		
DAÑO: Suelos expansivos		
DAÑOS: • Rotura de cimentación: ➤ Zapatas aisladas o corridas: despegue de cimentación, grietas horizontales por empujes y grietas inclinadas por asiento diferencial. ➤ Losas: grietas de flexión y distorsiones que pueden desembocar en giros y rotura de la misma. ➤ Pilotes: en obras antiguas, rotura de pilastras por cambio del estado de cargas, roturas por flexión y cortante, empujes sobre vigas riostras y los encepados, etc. ➤ Muros de sótano: grietas por empujes laterales. • Deformación de pavimentos. • Rotura de conducciones, empeorando el problema al añadir mas agua al terreno.		
RECOMENDACIONES: A continuación se explican algunas prácticas recomendables: • Profundidad de apoyo tal que sufra lo menos posible las consecuencias de este tipo de suelos. • Realización de un estudio geotécnico para un mejor conocimiento del terreno. • Cargas. Deberá realizarse un cálculo preciso de la situación de cargas. • Sistemas de cimentación. Estarán perfectamente arriostrados en dos direcciones con vigas de atado bien armadas. Se evitará el apoyo directo de soleras con el terreno expansivo, recomendándose la ejecución de forjados sanitarios bien ventilados y calculados. • Correcta ejecución de las conducciones subterráneas. • Correctos sistemas de drenaje que evacuen las aguas superficiales. • Urbanización exterior: aceras amplias y pavimentaciones extensas impermeables y correctamente armadas para evitar roturas, dispuestas perimetralmente, con pendiente hacia fuera y cunetas en el borde exterior.		
CROQUIS:  El terreno agrieta, el muro se asienta y esto provoca la fisuración de la fachada como muestra la imagen	FOTOGRAFIA:  Estado de chalet construido en época con humedad con muros de carga y cimentación superficial de zanja corrida. Al retraer el terreno aparecen grietas abiertas en fachadas por ceder la cimentación.	

1.3.7 Otras situaciones		
DAÑO: Ausencia de mantenimiento		
DESCRIPCION: El mantenimiento de una estructura se puede definir como el conjunto de actuaciones programadas o decididas como consecuencia de la valoración del estado de la estructura que permiten tenerla en un estado aceptable de servicio. Por tanto los objetivos generales del mantenimiento son: • Asegurar la capacidad portante de la estructura, para conseguir un grado adecuado de seguridad. • Asegurar que los usuarios de la estructura se encuentren con las mejores condiciones posibles de conformidad y confort. Pero el problema radica en que el concepto de mantenimiento esta poco difundido entre los propietarios de las construcciones de hormigón y por otra parte la legislación referente a mantenimiento es nula. Esto se agrava con el hecho de que en la mayoría de los casos el propietario es profano en temas de construcción y es por tanto incapaz de detectar los peligros del deterioro, por lo que no se recurre a un técnico hasta que el problema resulta obvio, momento en el que la reparación es muy costosa o imposible.		
DAÑOS: Las situaciones mas comunes que se producen por la ausencia de mantenimiento son: • Agresión medioambiental. Generalmente se basa en la combinación de polvo y lluvia que se deposita en las fachadas de hormigón visto. En ocasiones esta situación tambien se ve agravada por el incorrecto diseño que no permite el autolavado de las superficies de los paramentos, salvo que se recurra a la limpieza periódica de las fachadas que rara vez se cumple. • Cambio de uso de las estructuras de hormigón, que en la mayoría de los casos puede ocurrir sin la intervención de un técnico que verifique que la estructura puede resistir las nuevas acciones. Algunos ejemplos son: ➤ Cambios de viviendas a oficinas que conducen a disponer zonas de archivo, cuyas sobrecargas de uso pueden ser varias veces mayores a las de uso de vivienda. ➤ Disposición en zonas de oficinas de equipos informáticos y sobre todo de caja de caudales, que exceden en mucho la capacidad del forjado.		
RECOMENDACIONES: (ver aptdo.3 del capítulo II) Se recomienda: • Inspecciones oculares periódicas en busca de fisuras, manchas de oxido, o erosiones. • Inspección de paramentos, juntas y drenajes en el caso de muros. • Inspección de juntas y arquetas; y su posterior limpieza. • Mantener la zona de cimentación en el mismo estado que quedo tras su ejecución.	FOTOGRAFIA:  Debido a la ausencia de mantenimiento la vegetación aparece de forma abundante.	

1.3.7 Otras situaciones		
DAÑO: Meteorización y cambio de color		
DESCRIPCION: La superficie del hormigón puede sufrir cambios de aspecto que pueden afearlo, destacan: - Eflorescencias, debidas al transporte de cal (de la hidratación del cemento) a la superficie por capilaridad. No presenta consecuencias serias, pero su aparición aumenta con un desencofrado temprano, un tiempo calido y seco seguido de un periodo frío y húmedo; y con la baja densidad del hormigón. Para su eliminación es recomendable cepillarlas tan pronto como sea posible, antes de que se produzca la carbonatación. Si esta ya se ha producido las eflorescencias solo pueden eliminarse con una solución ácida seguida de un aclarado perfecto. - Cultivos biológicos. Afean la superficie del hormigón y en ocasiones se pueden confundir con depósitos de suciedad. El principal problema es que mantienen húmeda la superficie favoreciendo el crecimiento de algas y líquenes. Para su eliminación se puede recurrir al uso de germicidas. - Polución. Este es un factor continuo y por tanto el que mayores problemas produce. Se pueden distinguir dos causas: la polución por aire en la que juega un papel básico el viento que transporta el polvo y el tráfico de los vehículos que remueven la suciedad acumulada en el suelo. Y por otra parte la lluvia que ayudada por el viento provoca la formación de ráfagas y regueros de lluvia que generalmente no son lo suficientemente fuertes para limpiar las superficies, pero si para desplazar la suciedad depositándolas en lugares determinados.		
FACTORES QUE INFLUYEN: Destacan: - La absorción de agua por la superficie. A menor porosidad mayor facilidad para que los regueros de lluvia alcancen la totalidad de la fachada, incluyendo las zonas mas bajas. - El tipo de fachada. Cualquier quiebro, entrante o saliente de la superficie de la fachada crea zonas inaccesibles al agua de lluvia no pudiendo realizarse el lavado del polvo depositado. - La presencia de ventanales. Estos no absorben agua por lo que debe alejarse el agua escurrida por la fachada de estos mediante goterones o el empleo de perfiles. - Textura de la superficie del hormigón. Mejor comportamiento de las superficies con áridos vistos.		
RECOMENDACIONES: - Protección frente a la lluvia (Ej.: cornisas). - Empleo de hormigones oscuros. - Elección de texturas de hormigón con ranuras profundas y próximas. - Limpieza periódica de las superficies y empleo de productos que protejan al hormigón. - Diseños adecuados que permitan el drenaje y eviten la formación de depósitos de polvo.	FOTOGRAFIA:  Depósitos de suciedad al estar en una zona de tráfico intenso.	

1.3.7 Otras situaciones

DAÑO: Deformaciones excesivas: flechas



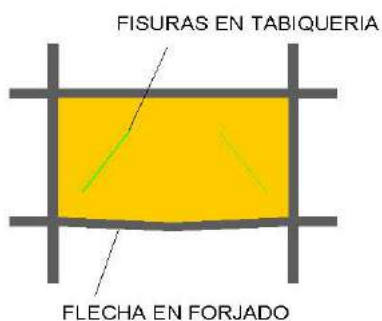
DESCRIPCION: Una estructura de hormigón armado puede estar satisfactoriamente calculada frente a los estados límites, últimos y de servicio; pero no frente al estado límite de servicio de la deformación excesiva. Esta situación que generalmente se trata de flechas excesivas no tiene porque suponer ningún riesgo para la estructura pero si para otros elementos no estructurales de la construcción como tabiques. Las patologías por exceso de flecha han existido siempre, pero en los últimos tiempos el problema se ha agudizado puesto que la construcción moderna tiende hacia estructuras más flexibles que favorecen el exceso de deformaciones. Los problemas que aparecen se pueden dividir en cuatro grupos:

- Flechas horizontales excesivas producidas por acciones de viento, con riesgo para cerramientos y tabiquerías, que históricamente aparecían al diseñar edificios altos y esbeltos que resultaban incompatibles con los cerramientos clásicos de piedra o ladrillo. Este problema impulso el desarrollo de los muros cortina.
- Flechas verticales excesivas que sin riesgo estructural producen mal efecto estético.
- Flechas verticales excesivas que sin riesgo para las partes no estructurales y sin producir mal efecto óptico dificultan la eliminación de agua de las cubiertas. Estas aparecen en cubiertas de escasa pendiente que al aparecer la flecha forman superficies cóncavas que embalsan el agua.
- Flechas verticales de vigas, losas y forjados con riesgo para cerramientos y tabiquerías.

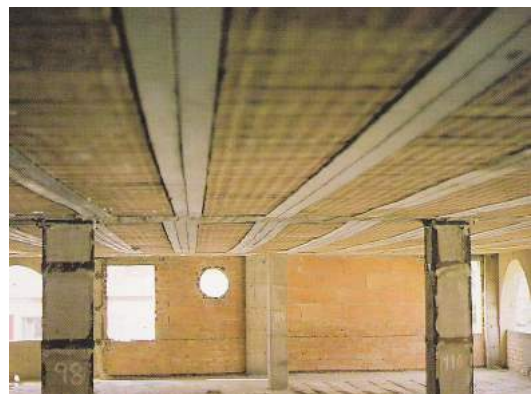
FACTORES QUE INFLUYEN: Paralelamente al desarrollo y evolución de las técnicas constructivas diferentes factores han influido para la aparición de este problema:

- Aumento de las luces de proyecto.
- La reducción de momento de inercia debida la empleo de mejores materiales.
- Errores en el cálculo de las flechas.
- Indefinición de la normativa en cuanto al cálculo de las flechas.
- Cambios en la disposición de cerramientos y tabiquerías. Cerramientos que en la construcción tradicional descansaba sobre el terreno pasa ahora a cargar sobre el forjado en las construcciones actuales por motivos estéticos y funcionales.

CROQUIS Y FOTOGRAFIA:



En el croquis y en la foto se ven la misma situación: la flecha del forjado y las posibles fisuras en la tabiquería.



1.3.7 Otras situaciones

DAÑO: Degradación del hormigón de cemento aluminoso



DESCRIPCION: El cemento de aluminatos calcicos (en vez de silicatos) es un cemento que en su producción se lleva a un estado de fusión completa al contrario que otros cementos. Su ventaja principal es que consiguen un endurecimiento muy rápido, aparte de una elevada resistencia a los sulfatos y a las altas temperaturas. Este tipo de cemento es capaz de alcanzar en uno o dos días resistencias a compresión que un cemento Pórtland alcanza en un mes. Esto hace que se emplee en la ejecución de piezas prefabricadas ya que aunque su precio es mayor que el de un cemento Pórtland evita costosas instalaciones de curado. Pero el problema de estos cementos radica en que en condiciones normales de humedad y temperatura sufren una serie de cambios que se pueden resumir en:

- Conversión cristalina. Es la transformación de los aluminatos monocálcicos en tricálcicos con liberación de alúmina. Esto provoca una reducción importante de la resistencia, dependiendo de la relación A/C y de la temperatura de curado.
- Hidrólisis alcalina. Los aluminatos monocálcicos hidratados se transforman en aluminatos alcalinos solubles y en carbonatos calcicos, que a su vez evolucionan y que con el CO₂ del aire forman de nuevo alúmina, por lo que puede continuar el proceso de deterioro.
- Carbonatación. Que reduce la protección de los armaduras (ver apartado 1.1.3).
- Incremento de la porosidad. Es originado por la conversión y puede alcanzar valores hasta el 20 %, incrementando la permeabilidad al aire y al agua.

RECOMENDACIONES: A la hora de emplear este tipo de cementos conviene tener en cuenta:

- La conversión acelera al crecer la relación A/C y con la temperatura y humedad del ambiente.
- Con independencia de lo anterior, la conversión acaba produciéndose siempre en cualquier condición de humedad y temperatura.
- Es prudente suponer que la conversión reducirá la resistencia del hormigón al 40% de la de un día de edad.
- Un edificio con estructura de hormigón de cemento aluminoso que ha sido estudiado profundamente no presenta riesgo superior al que ha sido ejecutado con cemento Pórtland, pero si debe ser sometido a una inspección periódica.

FOTOGRAFIA:



Ejemplo de los efectos de la aluminosis en el edificio de la imagen. Las consecuencias fueron aparición de la carbonatación, aumento de la porosidad facilitando la entrada de los agentes externos que ya empezaban la corrosión de las armaduras.

1.3.7 Otras situaciones

DAÑO: Otros fenómenos



Aparte de las situaciones antes descritas existen otros procesos que pueden dañar las estructuras:

- **Fluencia:** consiste en la deformación del hormigón a tensión constante que se desarrolla a lo largo del tiempo y es adicional a la que se produce instantáneamente cuando se aplican tensiones al hormigón. Esta es función de la resistencia del hormigón, de la tensión aplicada, de la humedad relativa del ambiente y del espesor ficticio de la pieza. Este proceso interviene en múltiples aspectos de la patología del hormigón.
- **Vibraciones:** Las estructuras que son diseñadas para albergar gimnasios, edificios deportivos, salas de baile o concierto, vehículos, etc. van a estar sometidas a unas vibraciones que deben preverse en el proyecto; ya que de lo contrario la estructura puede sufrir un agotamiento progresivo.
- **Inundación de terrazas:** La obstrucción de una bajante por hojas de árboles o suciedad, o el diseño erróneo de la bajante puede provocar una acumulación de agua en la terraza, que al no ser diseñadas para soportar el peso de dicha agua puede llegar a hundirse.
- **Acción de raíces de árboles:** El empuje producido por las raíces de ciertos árboles puede provocar movimientos de la cimentación o de la estructura (siempre que sean de pequeña o mediana magnitud). Por otra parte las raíces de ciertos árboles tienden a modificar las condiciones de humedad de algunos terrenos, como es el caso de las arcillas expansivas y los árboles cuyas raíces penetran a gran profundidad pudiendo provocar un aumento de la humedad con los consiguientes efectos expansivos. Por tanto es recomendable la correcta elección de los árboles a plantar en las proximidades y si conviene crear alrededor del edificio una barrera antirraíces. Otro aspecto peligroso de las raíces es que en su búsqueda de agua pueden penetrar en los tubos de desagüe de hormigón y desarrollarse en su interior formando un taponamiento.

PELIGROSIDAD DE LOS ÁRBOLES	
MUY PELIGROSOS	Álamo, Chopo, Aliso, Acacia, Sauce, Olmo, etc.
PELIGROSOS	Arce, Abedul, Fresno, Haya, Encina, etc.
POCO PELIGROSOS	Alerce, Cedro, Abeto, etc.

BIBLIOGRAFIA

- **“Patología de estructuras de hormigón armado y pretensado. Tomo I”** J. Calavera. Instituto Técnico de Materiales y Construcciones.
- **“Durabilidad de estructuras de hormigón. Guía de diseño CEB”** GEHO-CEB Colegio de Ingenieros, Canales y Puertos.
- **“Diagnosís y causas en patología de la edificación”** Manuel Muñoz Hidalgo.
- **“Patología y terapéutica del hormigón armado”** Manuel Fernández Canovas.
- **“Manual de consejos prácticos sobre hormigón”** Asociación nacional española de fabricantes de hormigón preparado (ANEFHOP) y Agrupación de fabricantes de cemento de España (OFICEMEN)
- **“Patología de estructuras”** Juan Pérez Valcárcel
- **“Fichas de patologías ASEFA”** www.portaldeobras.cl

APARTADO 2. DISEÑO Y EJECUCION DEL HORMIGÓN ARMADO. RECOMENDACIONES Y NORMATIVA VIGENTE

INTRODUCCION:

En la práctica aparecen gran cantidad de factores agresivos de distinta intensidad que hacen muy complicada la tarea de decidir correctamente la elección de materiales, técnicas de fabricación y procedimientos de ejecución, ya que estas decisiones afectarán a la estructura durante toda su vida útil. Los análisis y recomendaciones que se plantean en este apartado son un breve resumen de lo que establece la instrucción de hormigón estructural, la EHE; así como algunas de las prácticas habituales que aconsejan los técnicos mas experimentados. De esta forma, para fabricar un hormigón durable que soporte la exposición a determinadas condiciones ambientales, que proteja a las armaduras contra la corrosión durante su vida prevista y que en definitiva tenga una durabilidad garantizada se deben tener en cuenta los siguientes factores:

- Establecimiento de las condiciones de durabilidad.
 - Agresividad del ambiente de exposición.
 - Diseño estructural más adecuado.
 - Recubrimientos.
 - Separadores.
 - Requisitos de dosificación.
- Elección de los materiales componentes de tal forma que no tengan ingredientes dañinos para la durabilidad del hormigón y que no causen corrosión de las armaduras:
 - Cementos.
 - Agua.
 - Áridos.
 - Aditivos.
 - Adiciones.
 - Armaduras de acero corrugado.
- Ejecución del hormigón tal que satisfaga las condiciones respecto al proceso constructivo y a la vez se alcance el mejor producto final:
 - Encofrado.
 - Puesta en obra y compactación del hormigón.
 - Diseño y colocación de las armaduras.
 - Ejecución de las juntas de hormigonado.
 - Curado.
 - Desencofrado o desmoldeo.

2.1 Factores a considerar del hormigón armado	2.1.1
2.1.1 Establecimiento de las condiciones de durabilidad	

INTRODUCCION: Tal como define el artículo 37 de la EHE la durabilidad de una estructura de hormigón es su capacidad para soportar, durante la vida útil para la que ha sido proyectada, las condiciones físicas y químicas a las que está expuesta, y que podrían llegar a provocar su degradación como consecuencia de efectos diferentes a las cargas y solicitaciones consideradas en el análisis estructural. Para alcanzar este objetivo se debe plantear una estrategia capaz de considerar todos los factores de degradación en cada una de las fases de la estructura: proyecto, ejecución y uso de la misma.

- Consideración de la durabilidad en fase de proyecto (ver apartado 2.1.1): el proyecto de una estructura debe incluir las medidas necesarias para que la estructura alcance la duración de la vida útil acordada, de acuerdo con las condiciones de agresividad ambiental y con el tipo de estructura. Para ello se debe establecer una estrategia de durabilidad que incluya los siguientes aspectos:
 - Determinar el tipo de agresividad ambiental.
 - Selección de las formas estructurales adecuadas.
 - Obtención de una calidad adecuada del hormigón, en especial su capa exterior.
 - Adopción del espesor de recubrimiento adecuado para la protección de las armaduras.
 - Requisitos de dosificación.

Con todo esto el proyecto reflejara en memoria y planos el tipo de ambiente para el que se ha proyectado cada elemento, así como la definición de las formas y los detalles estructurales que sean eficaces frente a los posibles mecanismos de degradación del hormigón.

- Consideración de durabilidad en la fase de ejecución (ver apartado 2.1.3): la buena calidad de la ejecución de la obra y, sobre todo, del proceso de curado tendrán una influencia decisiva para alcanzar una estructura durable. Siempre cumpliendo en su totalidad todas las especificaciones establecidas, y nunca compensando los efectos derivados de alguna de ellas con el cumplimiento a mayores de otra.

2.1.1 Establecimiento de las condiciones de durabilidad



ASPECTO: Determinación de la agresividad ambiental

NORMATIVA: EHE (Art.8.2.1)

DESCRIPCION: La agresividad a la que esta sometida la estructura se identificará por el tipo de ambiente al que esta sometido cada uno de los elementos estructurales que la forman. Un ambiente queda definido por el conjunto de condiciones físicas y químicas a las que esta expuesto, y que puede llegar a provocar su degradación como consecuencia de efectos diferentes a los de las cargas y sollicitaciones consideradas en el análisis estructural. Según la EHE un ambiente se define por la combinación de:

- Una de las clases generales de exposición frente a la corrosión de las armaduras.
- Las clases específicas de exposición relativas a los otros procesos de degradación que procedan para cada caso.

De esta forma un elemento estructural solo va a poder estar bajo una clase general de exposición, pero puede estar sometido a varias clases específicas de exposición a la vez. Para organizar el trabajo de elección se agruparan los elementos que presenten características similares de exposición ambiental. Siempre que sea posible, se agruparán elementos del mismo tipo (pilares, vigas, cimentación, etc.), cuidando además que los criterios de selección sean coherentes con la cronología del proceso constructivo. Para cada grupo se identificara la clase, o en su caso, la combinación de clases, que definan la agresividad del ambiente al que se encuentran sometidos sus elementos. Las clases generales de exposición frente a la corrosión son:

CLASE GENERAL DE EXPOSICION				DESCRIPCION
CLASE	SUBCLASE	DESIG.	PROCESO	
NO AGRESIVA		I	NINGUNO	– interiores de edificios, no sometidos a condensaciones – elementos de hormigón en masa
NORMAL	HUMEDAD ALTA	IIa	CORROSION DE ORIGEN DIFERENTE DE LOS CLORUROS	– interiores sometidos a humedades relativas medias altas (>65%) o a condensaciones – exteriores en ausencia de cloruros, y expuestos a lluvia en zonas con precipitación media anual superior a 600 mm – elementos enterrados o sumergidos.
	HUMEDAD MEDIA	IIb	CORROSION DE ORIGEN DIFERENTE DE LOS CLORUROS	– exteriores en ausencia de cloruros, sometidos a la acción del agua de lluvia, en zonas con precipitación media anual inferior a 600 mm
MARINA	AEREA	IIIa	CORROSION POR CLORUROS	– elementos de estructuras marinas, por encima de pleamar – elementos exteriores de estructuras situadas en las proximidades de la línea costera (a menos de 5 Km.)
	SUMERGIDA	IIIb	CORROSION POR CLORUROS	– elementos de estructuras marinas sumergidas permanentemente, por debajo del nivel mínimo de bajamar
	EN ZONA DE MAREAS	IIIc	CORROSION POR CLORUROS	– elementos de estructuras marinas situadas en la zona de carrera de mareas
CON CLORUROS DE ORIGEN MARINO		IV	CORROSION POR CLORUROS	– instalaciones no impermeabilizadas en contacto con agua que presente un contenido elevado de cloruros, no relacionados con el ambiente marino – superficies expuestas a sales de deshielo no impermeabilizadas

2.1.1 Establecimiento de las condiciones de durabilidad



ASPECTO: Determinación de la agresividad ambiental

DESCRIPCION:

Las clases específicas de exposición relativas a otros procesos de deterioro distintos a la corrosión son:

CLASE ESPECIFICA DE EXPOSICION				DESCRIPCION
CLASE	SUBCLASE	DESIG.	PROCESO	
QUIMICA AGRESIVA	DEBIL	Qa	ATAQUE QUIMICO	- elementos situados en ambientes con contenidos de sustancias químicas capaces de provocar la alteración del hormigón con velocidad lenta (ver tabla 8.2.3.b)
	MEDIA	Qb	ATAQUE QUIMICO	- elementos en contacto con agua de mar - elementos situados en ambientes con contenidos de sustancias químicas capaces de provocar la alteración del hormigón con velocidad media (ver tabla 8.2.3.b)
	FUERTE	Qc	ATAQUE QUIMICO	- elementos situados en ambientes con contenidos de sustancias químicas capaces de provocar la alteración del hormigón con velocidad rápida (ver tabla 8.2.3.b)
CON HELADAS	SIN SALES FUNDENTES	H	ATAQUE HIELO-DESHIELO	- elementos situados en contacto frecuente con agua, o zonas con humedad relativa media ambiental en invierno superior al 75%, y que tengan una probabilidad anual superior al 50% de alcanzar al menos una vez temperaturas por debajo de -5 °C
	CON SALES FUNDENTES	F	ATAQUE POR SALES FUNDENTES	- elementos destinados al tráfico de vehículos o peatones en zonas con más de 5 nevadas anuales o con valor medio de la temperatura mínima en los meses de invierno inferior a 0 °C
EROSION		E	ABRASION CAVITACION	- elementos sometidos a desgaste superficial - elementos de estructuras hidráulicas en los que la cota piezométrica pueda descender por debajo de la presión de

FOTOGRAFIA:



La omisión de la definición del ambiente, la incorrecta selección de los materiales y una mala ejecución han causado la carbonatación y la corrosión de la estructura, situada próxima al mar.

2.1.1 Establecimiento de las condiciones de durabilidad		
ASPECTO: Selección de las adecuadas formas estructurales		
NORMATIVA: EHE (Art.37.2.2)		
DESCRIPCION: En el proyecto se definirán los esquemas estructurales, las formas geométricas y los detalles que sean compatibles con la consecución de una adecuada durabilidad de la estructura. Un principio básico para la consecución de una estructura durable consiste en lograr, en la medida de lo posible, el máximo aislamiento respecto del agua.		
RECOMENDACIONES: Algunas recomendaciones acerca de este principio son:		
• Evitar diseños estructurales que sean especialmente sensibles frente a la acción del agua. • Reducir al mínimo el contacto directo entre las superficies de hormigón y el agua (Ej.: goterones) • Facilitar la evacuación del agua, previendo los sistemas adecuados para su conducción y drenaje (imbornales, conducciones, etc.). De lo contrario el agua podrá acumularse en cualquier hueco existente, incrementando la humedad y la concentración de sustancias agresivas en una pequeña zona de hormigón con el evidente riesgo que supone. • Evitar el paso de agua sobre las zonas de juntas y sellados. Por ejemplo, si el agua de lluvia, nieve derretida o hielo, corre sobre el hormigón; el agua y los agentes agresivos disueltos tales como los cloruros pueden penetrar en el hormigón atacando la armadura. Por otra parte no se debe confiar en el buen funcionamiento de las juntas por muy impermeables que sean en su ejecución, es preciso diseñar adecuadas pendientes de drenaje que impidan la llegada del agua a la junta en caso de fallo de estas. • Evitar la existencia de superficies sometidas a salpicaduras o encharcamiento de agua. Las superficies que deban ser prácticamente horizontales, tales como aparcamientos o pavimentos, deben ser drenadas en zonas críticas como juntas y sellamientos, y dicho drenaje debe tener un mantenimiento a lo largo de su vida. Por otra parte se debe reducir en lo posible toda área superficial que pueda estar mojada o salpicada; por ejemplo los aleros proporcionan una valiosa protección de las fachadas contra el mojado de la lluvia.		
FOTOGRAFIA:		
		Nueva imagen de la estructura mostrada en al apartado anterior. Aquí se observa que la evacuación de agua no se ha diseñado de manera efectiva. La escorrentía del agua de lluvia se realiza sobre la fachada de hormigón y al llegar al borde un simple goterón hubiera facilitado la salida del agua. Ante la ausencia de dicho goterón el agua permanece mas tiempo en contacto con el hormigón facilitando el trabajo a los agentes agresivos.

2.1.1 Establecimiento de las condiciones de durabilidad

ASPECTO: Recubrimientos



NORMATIVA: EHE (Art.37.2.4)

DESCRIPCION: El recubrimiento del hormigón es la distancia entre la superficie exterior de la armadura (incluyendo cercos y estribos) y la superficie de hormigón más cercana. El espesor de recubrimiento es un parámetro importante para lograr una adecuada protección de la armadura durante la vida de la estructura, ya que no es sino una barrera que los agentes agresivos deben superar antes de llegar a dicha armadura.

RECOMENDACIONES: La EHE establece unos valores mínimos que deben cumplir los recubrimientos:

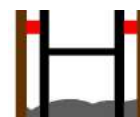
- En armaduras principales el recubrimiento será mayor o igual a los siguientes valores:
 - El diámetro de la barra mayor.
 - 1,25 veces el tamaño máximo del árido.
 - La suma del recubrimiento mínimo (según ambiente de exposición) y el margen de recubrimiento (según el tipo de elemento y el nivel de control de ejecución). (ver tabla 37.2.4 de la EHE)
- En barras dobladas (Ej.: arcos) no será inferior a dos veces el diámetro, medido en dirección perpendicular a la curva.
- Si el recubrimiento debe superar los 5 cm. (por exigencias como protección al fuego, etc.) se recomienda la colocación de una malla de reparto en medio del espesor del recubrimiento en la zona de tracción.
- En piezas en contacto con el terreno el recubrimiento será mayor o igual a 7 cm., salvo que se haya preparado el terreno y exista un hormigón de limpieza.
- En viguetas prefabricadas para forjados unidireccionales de hormigón armado o pretensado el recubrimiento real de hormigón será superior o igual a 15 cm., además de espesor de los revestimientos del forjado que sean compactos e impermeables y con carácter permanente.

FOTOGRAFIA:



La ausencia de recubrimiento en la viga descolgada de la imagen ha provocado que los estribos queden totalmente expuestos a la corrosión. En la imagen ya se observa como los cercos están siendo sometidos a la reparación. La causa de esta situación ha sido una mala ejecución al colocar el armado sobre el encofrado sin separadores o calzos que garanticen el recubrimiento (Ver apartado siguiente).

2.1.1 Establecimiento de las condiciones de durabilidad



ASPECTO: Separadores

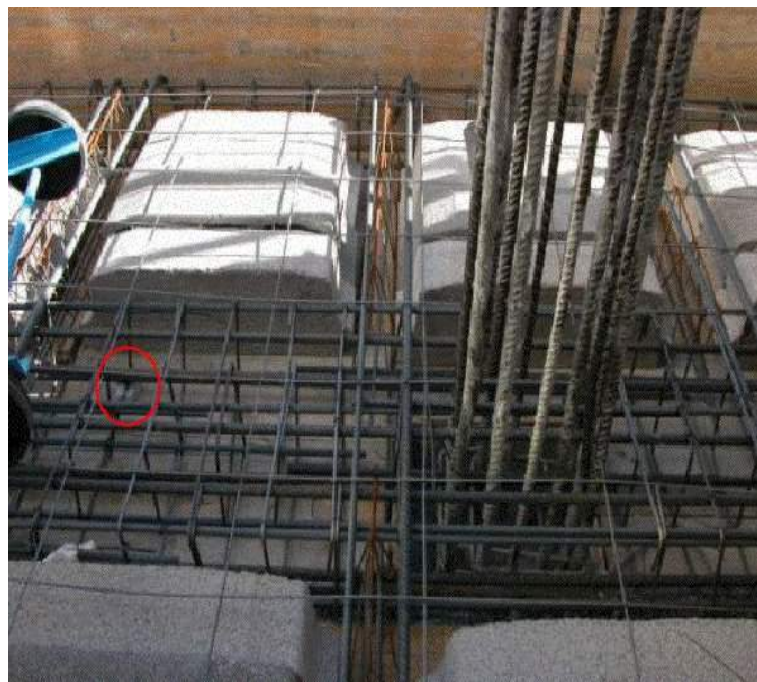
NORMATIVA: EHE (Art.37.2.5 y 66.2)

DESCRIPCION: Los recubrimientos mínimos indicados en el apartado anterior deberán garantizarse mediante la disposición de los correspondientes elementos separadores en obra. Estos calzos o separadores se colocan en obra y se encargan de separar las armaduras de los encofrados, y deberán estar constituidos por materiales que sean tan impermeables al agua como el hormigón, tener resistencia a los ataques químicos, no inducir a la corrosión de las armaduras; y ser resistentes a la alcalinidad del hormigón. Independientemente de que sean provisionales o definitivos, deberán ser de hormigón, mortero, plástico rígido o material similar y haber sido específicamente diseñados para este fin. En el caso de que sean de mortero, lo más habitual, serán de calidad semejante al mortero contenido en el hormigón de la obra. Por el contrario no se empleara la madera, el metal y cualquier material residual de construcción aunque sea ladrillo u hormigón. La disposición de los separadores según el elemento es la siguiente:

ELEMENTO		DISTANCIA MAXIMA
Elementos superficiales horizontales (forjados, losas, zapatas, etc.)	Emparrillado inferior	50 Ø ó 100 cm.
	Emparrillado superior	50 Ø ó 50 cm.
Muros	Cada emparrillado	50 Ø ó 50 cm.
	Separación entre emparrillados	100 cm.
Vigas *		100 cm.
Soportes		100 ó 200 cm.

*En las vigas se dispondrán al menos tres planos de separadores por vano y por tramo

FOTOGRAFIA:



Una practica habitual en la obra es la de emplear cualquier cascajo o trozo de mortero como separador. Esto acarrea el problema de que la armadura pueda desplazarse al verter el hormigón y no permita que el recubrimiento del hormigón se reparta uniformemente. En el mercado existen multitud de modelos de diversos materiales que se acoplan fácilmente a las barras y que garantizan los recubrimientos.

2.1.1 Establecimiento de las condiciones de durabilidad



ASPECTO: Requisitos de dosificación

NORMATIVA: EHE (Art.37.3 y 68)

DESCRIPCION: La durabilidad del hormigón es la capacidad de comportarse satisfactoriamente frente a las acciones físicas o químicas agresivas y proteger adecuadamente las armaduras embebidas en el hormigón durante la vida de servicio de la estructura. La selección de las materias primas (ver 2.1.2) y la dosificación del hormigón deberá hacerse siempre a la vista de las características particulares de la obra, así como de la naturaleza de las acciones o ataques que sean de prever en cada caso.

RECOMENDACIONES:

- Limitación a los contenidos de agua y cemento:

Una forma de garantizar la durabilidad del hormigón y la protección de las armaduras frente a la corrosión consiste en obtener un hormigón con una permeabilidad reducida. Para obtenerla son decisivos la elección de una relación A/C suficientemente baja, el contenido mínimo de cemento, la compactación adecuada del hormigón y la hidratación suficiente mediante un cuidadoso curado.

La EHE establece en función de las clases de exposición a las que vaya a estar sometido el hormigón una relación A/C máxima y un mínimo contenido de cemento. En el caso de que el tipo de ambiente tenga dos o más clases específicas se fijará el criterio más exigente. Con estos requisitos lo que se pretende es que los poros del hormigón ocupen el menor volumen posible formando una red intercapilar poco comunicada, de tal forma que se dificulten los ataques de los agentes exteriores. La tabla muestra dichas limitaciones:

PARAMETRO DOSIFICACION	TIPO DE HORMIGON	CLASE DE EXPOSICION												
		I	Ila	Ilb	IIla	IIlb	IIlc	IV	Qa	Qb	Qc	H	F	E
máxima relación A/C	masa	0,65	–	–	–	–	–	–	0,50	0,50	0,45	0,55	0,50	0,50
	armado	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	0,50	0,50	0,50	0,45	0,55	0,50	0,50
	pretensado	0,60	0,60	0,55	0,50	0,45	0,45	0,45	0,50	0,45	0,45	0,55	0,50	0,50
mínimo Kg. de cemento	masa	200	–	–	–	–	–	–	275	300	325	275	300	275
	armado	250	275	300	300	325	350	325	325	350	350	300	325	300
	pretensado	275	300	300	300	325	350	325	325	350	350	300	325	300

Mientras la siguiente tabla establece las resistencias mínimas compatibles con los requisitos de durabilidad:

PARAMETRO DOSIFICACION	TIPO DE HORMIGON	CLASE DE EXPOSICION												
		I	Ila	Ilb	IIla	IIlb	IIlc	IV	Qa	Qb	Qc	H	F	E
resistencia mínima (Mpa)	masa	20	–	–	–	–	–	–	30	30	35	30	30	30
	armado	25	25	30	30	30	35	30	30	30	35	30	30	30
	pretensado	25	25	30	30	35	35	35	30	35	35	30	30	30

El resto de requisitos que debe cumplir el hormigón según sea el ambiente al que está expuesto (Art. 37.3.3 al 37.4.1 de la EHE) quedan definidos en los apartados 2.1.2 con las recomendaciones que se dan para la elección de cada material; y el apartado 1 de este capítulo, donde para cada patología se dan unos consejos para hacer frente a los daños que provocan dichas patologías.

2.1 Factores a considerar del hormigón armado	2.1.2
2.1.2 Elección de los Materiales	
INTRODUCCION: La mayoría de los estudios realizados acerca de los errores realizados en las obras de edificación, y en particular de las estructuras de hormigón armado se sitúan en la fase de proyecto. Pero no por esto hay que despreciar los fallos que son consecuencia de la mala calidad de los materiales y de la incorrecta ejecución y colocación de estos. El objetivo del empleo de los materiales más adecuados no solo es alcanzar las resistencias previstas en el calculo sino que la tan mencionada durabilidad sea alta, es decir, que la estructura realizada son estos materiales alcance el final de su vida útil en un estado adecuado de servicio dentro del ambiente en el que ha de desarrollar su actividad. Una parte importante de los problemas que tienen las estructuras se deben a la falta de calidad de los materiales empleados; pero en muchas ocasiones los materiales son muy buenos pero no se han elegido bien y no son los más adecuados para las condiciones en que han de desarrollar su función. Los materiales que debemos analizar para desarrollar el mejor hormigón armado posible son: • Cemento: es el conglomerante cuya función es la de unión de los áridos y la protección de la armadura frente a la corrosión y el resto de agentes agresivos. • Agua: para el amasado, cuya función es la hidratar el cemento y conferirle trabajabilidad; y para el curado del hormigón, con el objetivo de hidratar, evitar la desecación y la aparición de fisuras de retracción. • Áridos: son los encargados de conferirle la resistencia y la durabilidad al hormigón, de sus propiedades físicas, químicas y térmicas dependen las propiedades del hormigón. • Aditivos: son los productos que permiten mejorar alguna de las propiedades del hormigón. • Adiciones: al igual que los aditivos pueden mejorar alguna de las propiedades del hormigón o conferirle características especiales. • Armaduras de acero: son las encargadas de soportar los esfuerzos de tracción que sufra la estructura, evitando la fisuración del hormigón.	

2.1.2 Elección de los Materiales

MATERIAL: Cementos



NORMATIVA: EHE (Art.26 y anejo 3); RC-03.

DESCRIPCION: Los cementos son conglomerantes hidráulicos, es decir, productos que amasados con agua forman pastas que fraguan y endurecen dando lugar a productos hidratados mecánicamente resistentes y estables, tanto en el aire como bajo el agua. Atendiendo a la naturaleza de sus componentes los cementos pueden clasificarse: (ver RC-03)

- Cementos portland I: con clinker portland, y con un máximo un 5% de componentes adicionales. Su empleo esta destinado a hormigones que precisen altas resistencias iniciales.
- Cemento portland II: a base de clinker portland y uno o varios componentes adicionales cuyo porcentaje no rebase el 35%, y se emplea para usos generales. Según sea el componente adicional se distinguen:
 - Cemento portland con escoria II-S
 - Cemento portland con puzolana II-Z
 - Cemento portland con ceniza volante II-C
 - Cemento portland con filler calizo II-F
- Cementos cuya composición presenta entre un 36% y un 80% de componente adicional:
 - Cementos de horno alto III, se emplea para resistencias a sulfatos y agua de mar.
 - Cemento puzolánico IV, se usa en resistencias a aguas ácidas y carbónicas agresivas.
 - Cemento mixto V, destinado para bases, subbases y firmes de carretera; así como presas.
- Cemento aluminoso VI: cemento fabricado a partir de clinker aluminosos. Su uso esta en hormigones y morteros refractarios.

Por otra parte los cementos pueden tener alguna característica especial, que queda en su designación: bajo calor de hidratación (BC), color blanco (B), resistentes al agua de mar (MR) y resistentes a los sulfatos (SR).

RECOMENDACIONES PARA LA ELECCION:

Las propiedades y el comportamiento del hormigón dependen en gran medida del tipo de cemento utilizado, teniendo una gran influencia técnica y económica en el hormigón. Se usarán aquellos cementos que cumplan la RC-03, y que cumplan las limitaciones establecidas en la tabla siguiente:

TIPO DE HORMIGON	TIPO DE CEMENTO
Hormigón en masa	Comunes, Para usos especiales
Hormigón armado	Comunes
Hormigón pretensado	Comunes: CEM I y CEM II/A-D

Como recomendaciones de carácter genérico para todos los tipos de cemento:

- Usar el cemento de la menor resistencia posible para el hormigón que se exija, ya que darán menos problemas patológicos.
- Usar el mínimo de Kg. de cemento posible para el hormigón que se exija, ya que dosificaciones altas generan problemas de retracción.

2.1.2 Elección de los Materiales

MATERIAL: Cementos



RECOMENDACIONES PARA LA ELECCION:

En función del ambiente la elección del cemento resulta fundamental, algunas recomendaciones son:

- **Contra ataque de ácidos:** Se emplearan cementos portland pobres en cal, cementos puzolánicos o de cenizas volantes. También se pueden emplear para hormigones resistentes a medios ácidos de pH comprendido entre 3,5 y 6 el cemento aluminoso, si otras circunstancias no se oponen a ello, ya que por sus componentes y por la naturaleza de la pasta hidratada, esta carece de los compuestos más susceptibles al ataque ácido.
- **Contra ataque de sulfatos:** En general, salvo excepciones, y debido a la susceptibilidad del aluminato tricálcico C_3A al ataque de sulfatos, los cementos mas resistentes al mismo son los de menor contenido de clinker y dentro de ellos, aquellos cuyo clinker tiene más bajo contenido de C_3A . Por otra parte también existen indicaciones que un alto contenido de ferritoaluminato tetracálcico C_4AF puede ser peligroso ante la presencia de sulfatos. El cemento empleado deberá ser un SR.
- **Contra ataque de álcalis:** Cuando es inevitable trabajar con áridos alcalinos deben emplearse cementos de bajo contenido en alcalinos o con adición de puzolana, escoria o humo de sílice. Es común el empleo de los tipos siguientes: III, IV, I con contenidos de álcalis inferiores al 0,60 %; y II cumpliendo con el requisito de una expansión limitada en la reacción álcalis-sílice
- **Contra la acción hielo-deshielo:** Los diferentes tipos de cemento portland y los cementos mixtos en hormigones debidamente dosificados, fabricados y con aire ocluido, un mínimo del 4,5%, (empleo de aditivos), proporcionan buenas resistencias al congelamiento cíclico.
- **Contra la corrosión por cloruros:** Empleo de cementos con adiciones de puzolanas naturales, escorias de alto horno o cenizas volantes ya que se caracterizan por un desarrollo lento de resistencias en las primeras edades, y posterior endurecimiento. Así se garantiza un buen curado alcanzando una mayor impermeabilidad. En caso de contacto con agua de mar el cemento deberá ser MR.

RECOMENDACIONES DE USO:

- **Suministro y almacenamiento:** Se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:
 - Se podrá recibir a granel o en sacos, si el suministro se realiza en sacos estos vendrán cerrados.
 - Si la temperatura de suministro supera los 40°C se debe manipular por medios mecánicos. La temperatura no debe superar los 70°C porque de lo contrario el cemento puede sufrir falso fraguado por deshidratación de la piedra de yeso.
 - Se almacenarán en sitio ventilado y protegido de la humedad y el sol. El almacenamiento no debe ser muy prolongado, limitándose a tres, dos y un mes, respectivamente, para las clases resistentes 32,5; 42,5 y 52,5. De lo contrario puede aparecer meteorización y alteraciones del fraguado.
- **Compatibilidad:** Deben evitarse las mezclas de los cementos, y en su caso, comprobar de antemano que la mezcla resultante no cambia en las condiciones de fraguado y endurecimiento.

2.1.2 Elección de los Materiales

MATERIAL: Agua



NORMATIVA: EHE (Art.27)

DESCRIPCION: El agua utilizada, tanto para el amasado como para el curado del hormigón, no debe contener ningún ingrediente dañino en cantidades tales que afecten a las propiedades del hormigón o a la protección de las armaduras frente a la corrosión. En general, podrán emplearse todas las aguas sancionadas como aceptables por la práctica. Cuando no se posean antecedentes de su utilización o en caso de duda, deberán analizarse las aguas, y salvo justificación especial de que no alteren perjudicialmente las propiedades exigibles al hormigón deberán cumplir las siguientes condiciones:

SUSTANCIA	LIMITACION	CAUSA
pH	≥ 5	Limitar la acidez del agua
sustancias disueltas	≤ 15 gramos por litro	Pueden alterar el fraguado y endurecimiento
sulfatos SO_4	≤ 1 gramo por litro	Evitar el contenido de sulfatos
ión cloruro Cl^-	≤ 3 gr./l ($< 0,4$ Peso cemento)	Evitar la corrosión de la armadura
Hidratos de carbono	0	Pueden alterar el fraguado y endurecimiento
Sustancias solubles en éter	≤ 15 gramos por litro	Pueden alterar el fraguado y endurecimiento

Por otra parte está totalmente prohibido el empleo del agua de mar, o aguas salinas análogas, para el amasado o curado de hormigones armados o pretensados. En el caso de hormigones sin armadura se pueden emplear quedando demostrado que su uso produce eflorescencias y reducción de la resistencia hasta un 15%, siendo recomendable el uso de cementos resistentes al agua de mar o a sulfatos.

RECOMENDACIONES PARA LA ELECCION:

Como recomendación de carácter genérico el exceso de agua en el amasado disminuye enormemente la resistencia final, mientras que una escasez del agua de curado perjudica la hidratación y provoca retracción. Respecto al posible ambiente al que este sometido el hormigón algunas recomendaciones acerca del agua:

- **Contra ataque de ácidos:** La EHE prohíbe el empleo de aguas ácidas obligando que su pH sea siempre mayor o igual a 5. Un pH inferior puede ser perjudicial a la armadura debido a que la acidez del agua puede disolver la pasta endurecida del cemento, aumentando su poder disolvente al decrecer el pH. En el caso de que el hormigón pueda estar en contacto con este tipo de aguas se tomaran las medidas oportunas en función del tipo de ácido que transporte el agua.
- **Contra ataque de álcalis:** No deben emplearse como agua de amasado ni el agua de mar ni aguas subterráneas alcalinas. La reacción álcali-sílice depende directamente de la absorción de agua del gel de sílice formado, es decir, que existe la posibilidad de evitar los daños producidos por la reacción si se evita el acceso de la humedad al hormigón. Esto puede lograrse mediante la formación de capas impermeables superficiales en el hormigón, o por tratamientos superficiales del mismo. Los valores críticos de humedad están en el 85%; pero por otra parte hay que tener en cuenta también la relación A/C, ya que si la cantidad de agua de amasado es elevada se puede producir la formación de productos expansivos sin necesidad de aporte exterior.

2.1.2 Elección de los Materiales		
MATERIAL: Áridos		
NORMATIVA: EHE (Art.28)		
DESCRIPCION: Los áridos constituyen el esqueleto del hormigón, le confieren resistencia y durabilidad, y son responsables de buena parte de las características del mismo pues son un elemento mayoritario, estando su porcentaje en torno al 80%. Los áridos deben estar constituidos por partículas duras, de formas adecuadas (sin formas lajosas o aciculares), inertes y no reactivas con los álcalis del cemento. Además, no deben contener arcillas, limos ni materias orgánicas; y no deben deteriorarse con los ciclos de hielo–deshielo. (Todas las condiciones mínimas que deben cumplir los áridos quedan desarrolladas en el Art. 27 de la EHE) Los áridos se clasifican en fracciones definidas por su tamaño máximo y su tamaño mínimo. El tamaño máximo de una fracción de árido es la abertura del tamiz UNE EN 933–2:96 por el que pasa más del 90% en peso de la misma, cuando además pase el total de la muestra por el tamiz de abertura doble. Mientras que el tamaño mínimo es la abertura del tamiz UNE EN 933–2:96 por el que pasa menos del 10%. El tamaño máximo de 4 mm marca la separación de entre arenas (árido fino) y gravas (árido grueso).		
RECOMENDACIONES PARA LA ELECCION: De forma genérica para todo tipo de áridos se debe: • Emplear granulometrías continuas y uniformes para evitar hormigones poco resistentes, la falta de adherencia entre la pasta y el árido, etc. Para conseguirlo debe separarse en diferentes fracciones, para que luego se puedan mezclar en las proporciones adecuadas. Como norma de buena práctica, la relación existente entre el tamaño máximo y mínimo de cada fracción no debe exceder de dos. • La forma de los áridos contribuye en buena medida en la resistencia del hormigón. Por ello, las partículas del árido no solo deben ser duras sino que han de estar en contacto de la forma lo mas estable posible. Por tanto los áridos más adecuados son los que tienen una forma lo más esférica posible, evitando siempre que se pueda el uso de formas alargadas y planas que solo exigen una mayor cantidad de agua y producen igualmente perdidas de resistencia. • La superficie de los áridos tiene una gran influencia en la trabajabilidad y en la resistencia de los hormigones. Los áridos con textura más rugosa (de machaqueo) necesitan una mayor cantidad de finos para mejorar su docilidad, y por tanto una mayor cantidad de agua. Mientras, los áridos rodados permiten obtener con mayor facilidad hormigones más dóciles. Por el contrario cuanto mas lisa sea la superficie de los áridos, menor será la resistencia a compresión del hormigón, siendo conveniente emplear áridos de superficie rugosa cuando se deseen elevadas resistencias. • El contenido de finos. Con objeto de hacer más cohesivo al hormigón, facilitando su trabajabilidad, debe incorporarse una cantidad suficiente de finos que dependerá de la granulometría de los áridos. Se debe tener en cuenta: ➤ un exceso de finos reduce la trabajabilidad a menos que se empleen aditivos. ➤ la sustitución del cemento por finos más allá de lo permitido puede afectar a la durabilidad.		

2.1.2 Elección de los Materiales

MATERIAL: Áridos



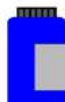
RECOMENDACIONES PARA LA ELECCION:

Respecto a los diferentes ambientes a los que pueda estar sometido el hormigón se recomienda:

- **Contra ataque de ácidos:** Existen discrepancias a la hora de elegir la naturaleza del árido para resistir el ataque de los ácidos. En general, los áridos silíceos son más resistentes que los calcáreos; pero en algunos casos, como el ataque de ácidos débiles, los hormigones de áridos calcáreos son más resistentes debido a que dicho ataque provoca sobre la pasta de cemento una capa difícilmente soluble que no se elimina por acciones mecánicas, y que protege al hormigón de ataques futuros.
- **Contra ataque de álcalis:** La protección más segura contra este tipo de ataque es el empleo de áridos que no contengan silicio capaz de reaccionar con los álcalis. Pero este no es el único factor a considerar en la degradación de una estructura por la reacción álcali-sílice, existen otros factores como la cantidad y el tamaño de los áridos reactivos, la presencia de humedad, el tiempo o la temperatura. Con respecto a la cantidad es preciso que exista un mínimo de áridos reactivos para que se produzca la expansión. Si esta cantidad supera el 35% la reacción no se produce porque las partículas reactivas reducen rápidamente la concentración de alcalinos impidiendo la formación de gel. Del mismo modo si el tamaño de los áridos es demasiado pequeño la reacción de los álcalis se produce antes de que pueda formarse el gel, por lo que la degradación del hormigón es improbable.
Cuando el empleo de áridos reactivos es inevitable se deben limitar el contenido total de álcalis del hormigón, usar un cemento con bajo contenido de álcalis y limitar el grado de saturación del hormigón.
- **Contra la acción del hielo-deshielo:** Se deben evitar el empleo de áridos cuyo sistema de poros sea insuficiente para acomodarse a la expansión producida por el paso del agua al hielo.
- **Contra la acción de la erosión:** El empleo de áridos de rocas resistentes al desgaste, junto con un mortero de cemento de elevada resistencia (baja relación A/C) garantizan una alta resistencia al desgaste por abrasión, siempre que la capa superficial del hormigón sea fina y la superficie este libre de fisuras gracias a un buen curado.

RECOMENDACIONES DE USO:

- **Almacenamiento:** Se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:
 - Los acopios de áridos deben realizarse adecuadamente para evitar la contaminación ambiental, impedir la segregación y la mezcla entre fracciones. Asimismo, hay que tener cuidado en la utilización de la zona inferior del acopio cuando se encuentre en contacto directo con el terreno, para evitar posibles contaminaciones de los áridos.
 - Se debe considerar la humedad de los áridos al dosificar el hormigón por dos motivos:
 1. Para corregir la cantidad de agua de amasado, restando la que traen los áridos mojados.
 2. El aumento del volumen de las arenas puede revestir gran importancia cuando se dosifica en volumen.

2.1.2 Elección de los Materiales	
MATERIAL: Aditivos	
NORMATIVA: EHE (Art.29.1)	
DESCRIPCION: Los aditivos son las sustancias o productos que, incorporados al hormigón antes del amasado (o durante el mismo o en el transcurso de un amasado suplementario) en una proporción no superior al 5% del peso del cemento, producen la modificación deseada, en estado fresco o endurecido, de alguna de sus características, de sus propiedades habituales o de su comportamiento. El empleo de este tipo de productos debe garantizar que no afecta negativamente a la durabilidad del hormigón y a la corrosión de las armaduras; así como que añadido en las proporciones previstas por el fabricante produce el efecto deseado en el hormigón y no perturba el resto de sus propiedades.	
RECOMENDACIONES PARA LA ELECCION: Dependiendo de la propiedad a modificar se usaran: • Aditivos que modifican las propiedades del hormigón fresco: ➤ Plastificantes: producen en general hormigones mas trabajables, menos segregables y más dóciles, permitiendo alcanzar mayores resistencias mecánicas al poder usar relaciones A/C más bajas. ➤ Aireantes: introducen un elevado número de pequeñas burbujas de aire en el hormigón para aumentar su resistencia a la helada, o reducir las expansiones debidas a la reacción álcali-sílice. • Aditivos que modifican las propiedades del hormigón durante el periodo de fraguado y endurecimiento: ➤ Retardadores de fraguado: aumentan el tiempo durante el que el hormigón se mantiene en estado plástico, y por tanto trabajable. En ocasiones pueden producir un pequeño descenso de las resistencias mecánicas iniciales. ➤ Aceleradores de fraguado: disminuyen el tiempo transcurrido entre el estado plástico y el estado sólido, aumentando el desarrollo de la resistencia inicial, y reduciendo el tiempo de desencofrado. ➤ Aceleradores de endurecimiento: aumentan la velocidad de desarrollo de las resistencias iniciales con o sin modificación del tiempo de fraguado. Los aditivos aceleradores pueden mejorar la resistencia a la helada del hormigón, al igual que los aditivos anticongelantes que disminuyen considerablemente el punto de congelación del agua de amasado reduciendo el riesgo de aparición de cristales de hielo en la masa de hormigón.	
RECOMENDACIONES DE USO: • El empleo de aditivos no se podrá hacer en ningún caso sin el conocimiento del peticionario y la expresa autorización de la dirección de obra. • Su uso se tendrá en cuenta en los efectos del cálculo del contenido de cemento y la relación A/C. • Su transporte y almacenamiento evitará su contaminación y la alteración de sus propiedades por factores como heladas, altas temperaturas, etc. Por otra parte el aditivo se suministrará correctamente etiquetado según UNE 83275:89 EX. • No se usaran cloruros calcicos como aditivos ni en hormigón armado ni en pretensado ya que pueden favorecer la corrosión de las armaduras.	

2.1.2 Elección de los Materiales	
MATERIAL: Adiciones	
NORMATIVA: EHE (Art.29.2)	
DESCRIPCION: Las adiciones son aquellos materiales inorgánicos, puzolánicos o con hidraulicidad latente que, finamente divididos, pueden ser añadidos al hormigón en el momento de su fabricación con el fin de mejorar algunas de sus propiedades o conferirle propiedades especiales. Las adiciones validas por la EHE: • Cenizas volantes: residuos sólidos que se recogen por precipitación, procedentes de los gases de combustión de los quemadores de centrales termoeléctricas alimentadas por carbones pulverizados. La cantidad añadida no excederá el 35% del peso del cemento. • Humo de sílice: subproducto de la reducción de cuarzo muy puro con carbón en hornos eléctricos. La cantidad añadida no excederá el 10% del peso del cemento. Ambas adiciones se podrán añadir a la fabricación del hormigón sólo cuando esta se realice con cemento del tipo CEM I; y nunca para la fabricación de hormigones pretensados. Por otra parte, el empleo de este tipo de productos debe garantizar que no afecta negativamente a la durabilidad del hormigón y a la corrosión de las armaduras; así como que añadido en las proporciones previstas por el fabricante produce el efecto deseado en el hormigón y no perturba el resto de sus propiedades.	
RECOMENDACIONES PARA LA ELECCION: • Contra ataque de sulfatos: Pruebas experimentales han demostrado que puzolanas usadas en el cemento compuesto o añadidas durante la mezcla, en una cantidad aproximada del 20% del peso del cemento aumentan la esperanza de vida del hormigón expuesto a sulfatos. Las puzolanas se combinan con la caliza resultante de la hidratación del cemento reduciendo la formación de yeso. De ahí que la elección del CEM V sea una opción a considerar. • Contra ataque de álcalis: El uso de adiciones puzolánicas, en especial micro sílice, reduce las expansiones gracias a su propiedad de fijar los álcalis. Añadiendo una cantidad del orden del 20% del peso del cemento se produce una disminución de la alcalinidad al formar un gel inofensivo de cal-álcali en una cantidad que no puede tener lugar la reacción perjudicial. Por el contrario este tipo de puzolanas no son eficaces en el control de la reacción álcali-carbonato. • Contra la acción del hielo-deshielo: Con largos periodos de frío, los cementos de adición pueden ser ventajosos para prevenir la degradación total por congelación. Pero si se quiere aumentar la resistencia a las heladas por medio de adiciones se deberán realizar ensayos significativos, ya que grandes cantidades de adiciones provocan un cambio en la estructura de poros del hormigón pudiendo influir de manera negativa sobre la resistencia a la descamación.	
RECOMENDACIONES DE USO: • El empleo de adiciones no se podrá hacer en ningún caso sin el conocimiento del peticionario y la expresa autorización de la dirección de obra. • Se deberá tener en cuenta en los efectos del cálculo del contenido de cemento y la relación A/C. • Su transporte y almacenamiento evitará su contaminación y la alteración de sus propiedades.	

2.1.2 Elección de los Materiales	
MATERIAL: Armaduras de acero	
NORMATIVA: EHE (Art.31), UNE 36068:94; UNE 36092:96; UNE 36739:95 EX	
DESCRIPCION: Las armaduras pasivas para el hormigón serán de acero y estarán constituidas por:	
1. <u>Barras corrugadas</u> : Las barras corrugadas de acero son las que presentan estrías o resaltos para mejorar su adherencia con el hormigón, y se emplean para el armado de los diferentes elementos de hormigón. Según la EHE los diámetros que se pueden emplear en los elementos de hormigón armado son: 6, 8, 10, 12, 14, 16, 20, 25,32 y 40 mm; y los aceros normalizados para estas barras son el B400S y B500S. La designación de este tipo de barras se realiza así: Ø 12 B 400 S UNE 36068-94 Siendo la secuencia: el símbolo del diámetro, el diámetro nominal, el tipo de acero (B), el valor del limite elástico nominal garantizado en Mpa, la letra S que indica la condición de soldable, y la referencia a la norma UNE correspondiente a dichas barras. Todas las prescripciones y tolerancias para este tipo de barras se recogen en dicha norma UNE. Del cumplimiento de dichas consideraciones el acero no debería dar ningún tipo de problema patológico sea cual sea el ambiente al que este sometido el hormigón, las cuestiones más importantes son: • Ensayo de adherencia por flexión (UNE 36740:98). • Ausencia de grietas en ensayo doblado-desdoblado (UNE 36068-94) • Llevar grabadas las marcas de identificación (UNE 36068-94) De cualquier manera para garantizar que las barras colocadas en la obra van a cumplir con las propiedades que se le presupone deberá disponer de la marca AENOR de certificación de productos de acero para hormigón. En caso de que carezca de dicha certificación deberá demostrar que supera todos los ensayos definidos en la norma UNE 36068-94.	
2. <u>Mallas electrosoldadas</u> : Producto formado por barras corrugadas que se cruzan perpendicularmente entre si, con separaciones de 10, 15, 20 y 30 cm.; y cuyos puntos de contacto están unidos mediante soldadura eléctrica por un proceso de producción en serie en instalación fija. Se emplean en armado de elementos superficiales de hormigón. Las barras corrugadas que forman las mallas deberán cumplir todas las prescripciones y tolerancias que establece la norma UNE 36068-94. Su designación es: ME 15X30 A Ø10 6, 5 B500 T 5X2 UNE 36092:96 Siendo la secuencia: tipo de producto, separaciones entre ejes de alambres longitudinales y transversales respectivamente, diámetro de alambre longitudinal y transversal respectivamente, tipo de acero con limite elástico y la clase de acero, longitud y anchura del panel; y la norma UNE.	
3. <u>Armaduras básicas soldadas en celosía</u> : Producto formado por un sistema de elementos (barras o alambres), con una estructura espacial y cuyos puntos de contacto están unidos por soldadura eléctrica. Se emplean para formar parte de piezas prefabricadas semirresistentes que se emplean como viguetas o prelosas en la construcción de forjados. Cumplirán todas las prescripciones y requisitos que establece la norma UNE 36739-95 EX.	

2.1 Factores a considerar del hormigón armado	2.1.3
2.1.3 Ejecución del hormigón armado	

INTRODUCCION: La buena calidad de la ejecución de la obra y, sobre todo, del proceso de curado tendrá una influencia decisiva para alcanzar una estructura durable. De nada vale que el diseño y la elección de los materiales que constituyen el hormigón sean los más indicados si después en el proceso de ejecución no se pone el máximo cuidado. Hay que tener en cuenta que la responsabilidad que tiene en la calidad de un hormigón la central que lo ha fabricado termina con su entrega en la obra, pudiendo darse el caso de que un hormigón bueno se convierta en pésimo como consecuencia de adiciones posteriores o mala ejecución en la puesta en obra, compactación o curado. Las etapas en las que se divide el proceso de ejecución del hormigón son:

- Encofrados: son los elementos que dan forma al hormigón fresco hasta que endurece.
- Elaboración de la ferralla y colocación de las armaduras: es la fase en la que se montan los armados de los diversos elementos y se disponen en el interior de los encofrados a la espera de recibir el hormigón fresco.
- Fabricación y transporte del hormigón: es todo el proceso que va desde la mezcla de los ingredientes del hormigón, ya sea en central o en la propia obra, hasta que el hormigón esta listo para verterlo en su posición definitiva.
- Puesta en obra: es la etapa del vertido y posterior compactado del hormigón. Es una fase muy importante y que definirá gran parte del éxito de la ejecución.
- Curado: es la etapa en la que se riega el hormigón para que hidrate y no se produzcan retracciones. Es una etapa tan importante como las anteriores, ya que de nada sirve haber realizado bien el resto de etapas si no se realiza un curado adecuado.
- Desencofrado: es la operación de retirada de los moldes que dieron forma al hormigón.

2.1.3 Ejecución del hormigón armado

ETAPA: Encofrados



NORMATIVA: EHE (Art.65)

DESCRIPCION: Son las piezas que se encargan de darle forma al hormigón fresco hasta su endurecimiento. Pueden ser de madera, de metal u otro material siempre que cumpla las recomendaciones siguientes.

RECOMENDACIONES:

- **Resistencia y rigidez:** Los encofrados, así como las uniones de sus distintos elementos, poseerán una resistencia y rigidez suficientes para resistir sin asentos ni deformaciones perjudiciales, las acciones de cualquier naturaleza que puedan producirse sobre ellos como consecuencia del proceso de hormigonado, y especialmente bajo las presiones del hormigón fresco o los efectos de la compactación. Por otra parte los encofrados se dispondrán de manera que se eviten daños en estructuras ya construidas; y sujetos para evitar movimientos durante el hormigonado o por el viento.
- **Estanqueidad:** Los encofrados serán lo suficientemente estancos para que no se produzcan pérdidas apreciables de lechada o mortero y se consigan superficies cerradas del hormigón, sea cual sea el sistema de compactación. En el caso de que se empleen encofrados de madera la superficie interior será lisa y se mantendrán embebidas en agua hasta el momento del hormigonado, rellenando todas las grietas existentes para hacerlas estancas, evitando así que absorba el agua del hormigón. Tampoco es conveniente que la madera esté demasiado verde, porque puede retraer antes del hormigonado; ni demasiado seca, que pueda pandear al humedecerse.
- **No atacarán al hormigón:** Las superficies interiores de los encofrados aparecerán limpias en el momento del hormigonado, y presentarán las condiciones necesarias para garantizar la libre retracción del hormigón y evitar así la aparición de fisuras en los paramentos de las piezas. Para facilitar la limpieza de los fondos de pilares y muros deberán disponerse aberturas provisionales en la parte inferior de los encofrados correspondientes. Se eliminarán con cepillo todos los posibles restos de hormigón de encofrados anteriores; y si se usan desencofrantes (siempre bajo la autorización de la dirección de obra) estos no contendrán sustancias perjudiciales para el hormigón.

FOTOGRAFIA:



Las excesivas juntas de los encofrados, sobre todo si son de madera, afectan a su estanqueidad en la zona de las juntas de forma que el hormigón fresco escapa por ellas formando rebabas.

2.1.3 Ejecución del hormigón armado	
ETAPA: Elaboración de la ferralla y colocación de las armaduras	
NORMATIVA: EHE (Art.66)	
DESCRIPCION: Las armaduras de acero son los elementos que van embebidos en el interior del hormigón y que se encargan de absorber los esfuerzos de tracción. El diseño de los armados de los distintos elementos según sean los esfuerzos que soporta, la elaboración de dichos armados en el taller, y la colocación en el interior de las piezas resultan fundamentales para garantizar la durabilidad y la seguridad de la estructura. De no cuidar este proceso la aparición de fisuras, la corrosión del acero y la destrucción del hormigón están más que aseguradas gracias a situaciones como los desplazamientos de la armadura, los golpes con el vibrador, la caída de los estribos, etc.	
RECOMENDACIONES: • Armaduras pasivas: Las armaduras que se empleen en la ejecución de hormigón armado deben cumplir: ➤ Se colocarán exentas de pintura, grasa o cualquier otra sustancia que pueda afectar negativamente al acero, al hormigón o a la adherencia entre ambos. ➤ Se sujetaran entre si de forma que no varíe su posición especificada durante el transporte, montaje y hormigonado; permitiendo al hormigón envolverlas sin dejar coqueras. ➤ Se aseguraran en el interior de los encofrados contra todo tipo de desplazamiento, comprobando su posición antes de proceder al hormigonado. ➤ Para la elaboración en obra de la ferralla se autoriza el uso de soldadura siempre que se cumpla lo establecido en la norma UNE 36832:97, se efectúe en taller fijo y lo autorice la dirección de obra. ➤ Los cercos o estribos de pilares y vigas se sujetaran a las barras principales mediante atado. Esta prohibido el uso de soldadura una vez la ferralla este en el interior de los encofrados. ➤ Se recomienda no mezclar los diámetros de las barras en el acopio para evitar confusiones. ➤ Si la armadura presenta oxidación se procederá al cepillado y posterior comprobación de que la perdida de peso de la armadura no supera el 1%. ➤ La posición de las armaduras garantizara los recubrimientos mínimos mediante la colocación en obra de separadores (ver aptdo. 2.1.1). ➤ El doblado de las armaduras pasivas se realizara en frío, con medios mecánicos y con la ayuda de mandriles. El diámetro de los mandriles dependerá del tipo de acero y del diámetro de la barra (si el Øbarra es menor que 20 mm el mandril será de 4Ø; si la barra es mayor o igual, el mandril será 7Ø) ➤ No se permiten enderezar codos. ➤ Se podrán desdoblar barras en la obra solo si realizan con procesos contrastados, nunca en caliente y sin provocar fisuras en las barras. ➤ No se deben doblar un número elevado de barras en una misma sección de la pieza. ➤ La disposición de las barras permitirán un correcto hormigonado tal que queden envueltas por el hormigón, teniendo en cuenta, en su caso, las limitaciones que pueda imponer el empleo de vibradores internos.	

2.1.3 Ejecución del hormigón armado



ETAPA: Elaboración de la ferralla y colocación de las armaduras

RECOMENDACIONES:

- Cuando las barras se coloquen en capas horizontales separadas se dispondrán verticalmente unas sobre las otras, nunca al tresbolillo; de forma que permita el paso del hormigón y de un vibrador.
- La distancia libre, horizontal y vertical, entre dos barras aisladas consecutivas será mayor o igual al mayor de los tres valores siguientes: el diámetro de la mayor, 2 cm. y 1,25 veces el tamaño máximo del árido.
- Se podrá recurrir a grupos de barras, dos o mas barras corrugadas puestas en contacto, siempre que el siempre que no superen las tres barras, salvo piezas comprimidas, hormigonadas en posición vertical y cuyas dimensiones no precisen de empalmes; pudiéndose usar cuatro barras.
- En los grupos de barras, se considerará como diámetro de cada grupo el de la sección circular de área equivalente a la suma de las áreas de las barras que lo constituyen. Los recubrimientos y las distancias se medirán a partir del contorno real del grupo.

• Anclaje de las armaduras pasivas:

- Los anclajes extremos de las barras podrán hacerse por gancho, patilla, prolongación recta o cualquier otro procedimiento garantizado por la experiencia, y que sea capaz de asegurar la transmisión de esfuerzos al hormigón sin peligro para este.
- Las longitudes básicas de anclaje (L_b) dependen de la adherencia de las barras y de la posición que estas ocupan en la pieza de hormigón. Se distinguen dos posiciones:
 1. Posición I, de adherencia buena, para las armaduras que durante el hormigonado forman con la horizontal un ángulo comprendido entre 45° y 90° o que en el caso de formar un ángulo inferior a 45° , están situadas en la mitad inferior de la sección o a distancia igual o mayor a 30 cm. de la cara superior de una capa de hormigonado.
 2. Posición II, de adherencia deficiente, para las armaduras que, durante el hormigonado, no se encuentran en ninguno de los casos anteriores.
- La longitud neta de anclaje (L_{bn}) será mayor o igual al mayor de los tres valores siguientes: 15 cm., la tercera parte de L_b para barras traccionadas y los dos tercios en barras comprimidas; y diez veces el diámetro de la barra mayor.
- Si existen efectos dinámicos (viento, sismo, etc.) las longitudes de anclaje se aumentaran 10% .
- En vigas deberá continuarse hasta los apoyos el menos un tercio de la armadura necesaria para resistir el máximo momento positivo, en el caso de apoyos extremos; y al menos un cuarto en el caso de apoyos intermedios. Esta armadura se prolongara a partir del eje del apoyo en una magnitud igual a la correspondiente longitud neta de anclaje.
- La determinación de las longitudes netas de anclaje (ver Art. 66.5.2 EHE) depende del diámetro de la barra, de la calidad del hormigón y de la propia longitud de anclaje. Existe un factor de reducción dependiendo de si la barra esta en tracción o en compresión.

2.1.3 Ejecución del hormigón armado

ETAPA: Elaboración de la ferralla y colocación de las armaduras



RECOMENDACIONES:

- **Empalme de las armaduras pasivas:**

- Los empalmes entre barras deben diseñarse de manera que la transmisión de fuerzas de una barra a la siguiente quede asegurada, sin que se produzcan desconchados o cualquier otro tipo de daño en el hormigón próximo a la zona de empalme.
- Solo se harán los empalmes indicados en los planos y los autorizados por la dirección de obra.
- Los empalmes se alejarán de las zonas en las que la armadura trabaja a su máxima carga.
- Los empalmes se pueden realizar por solapo, soldadura, y aquellos métodos cuyos ensayos demuestren que los empalmes poseen una resistencia a la rotura no inferior a la de la menor de las dos barras empalmadas.
- Los empalmes por solapo se realizarán colocando las barras una al lado de otra, dejando una separación entre ellas de 4ϕ como máximo. La longitud de solapo será igual a la longitud neta de anclaje por un coeficiente, función del porcentaje de la armadura solapada, del tipo de esfuerzo en la barra y de la distancia transversal de entre empalmes. Esta no será inferior a 2 cm., el diámetro de la barra mayor, y 1,25 veces el tamaño máximo del árido.
- En las zonas solapadas deberán disponerse mayor número de cercos.
- Está prohibido el empalme por solapo en los grupos de cuatro barras.
- Los empalmes por soldadura deberán realizarse de acuerdo con la norma UNE 36832:97, y por operarios debidamente cualificados.
- Las superficies a soldar estarán exentas de cualquier material perjudicial, y totalmente secas.
- No se dispondrán empalmes por soldadura en tramos de fuerte curvatura.
- Esta prohibido soldar armaduras galvanizadas o con recubrimientos epoxídicos.
- No se realizarán soldaduras en periodo de viento, lluvia, ni con temperaturas inferiores 0°C , etc. para evitar el enfriamiento rápido.
- Las soldaduras a tope de barras de distinto diámetro podrá realizarse si la diferencia de diámetros es inferior a 3 mm.
- Los empalmes mecánicos se harán de acuerdo los procedimientos establecidos por los fabricantes; y deberán tener al menos la misma capacidad resistente que la menor de las barras que se empalmen, y el desplazamiento relativo de las armaduras empalmadas no rebase 0,1 mm.
- Cuando las barras tengan diámetros no inferiores a 32 mm es aconsejable el empleo de empalmes por medio de manguitos metálicos.
- Debido a la dificultad de su transporte a la obra se limitará la longitud máxima de una barra a 12 m.

2.1.3 Ejecución del hormigón armado

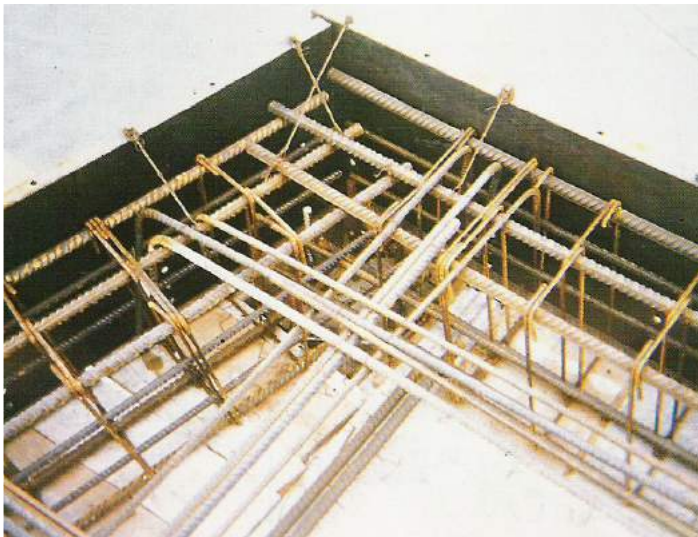
ETAPA: Elaboración de la ferralla y colocación de las armaduras



FOTOGRAFIA:



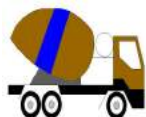
Tal como establece la EHE las barras estarán exentas de cualquier sustancia que pueda afectar al acero, al hormigón o a la adherencia entre ambos. Una práctica muy habitual es la de no retirar la ficha de plástico o papel que define el armado, hormigonando sobre ella. Esto no hace sino mermar la homogeneidad y uniformidad del hormigón.



La armadura de negativos se dispondrá hasta la cara del apoyo, a partir de aquí se anclará en una longitud igual a la longitud neta. La ausencia del anclaje permite el deslizamiento de la armadura en el hormigón que se fisurará a tracción por no trabajar correctamente, como muestra la imagen.



El espesor de recubrimiento alrededor de los empalmes debe ser suficiente porque de lo contrario se pueden producir patologías al no poder transmitir el esfuerzo de una barra a la otra por falta de hormigón. Es preciso asegurarse que el hormigonado se realiza adecuadamente en las zonas en que se han colocado empalmes.

2.1.3 Ejecución del hormigón armado		
ETAPA: Fabricación y transporte a obra del hormigón		
NORMATIVA: EHE (Art.69)		
DESCRIPCION: La fabricación del hormigón consta de varias etapas hasta que está listo para su puesta en obra. Estudiando el hormigón que es preparado en central (no es recomendable el que no este fabricado en central porque suele dar grandes dispersiones en la calidad del mismo), la EHE da una serie de prescripciones para cada etapa para obtener el producto mas homogéneo y uniforme posible.		
RECOMENDACIONES: • Almacenamiento de las materias primas: ➤ Se almacenarán de tal forma que se evite todo tipo de entremezclado, contaminación, deterioro, o cualquier otra alteración significativa en sus características. ➤ El apilamiento de los áridos se hará disponiendo una base anticontaminante que evite su contacto con el terreno. Para evitar la mezcla de fracciones granulométricas distintas se dispondrán tabiques separadores. Debe tambien preverse la acción del viento con objeto de evitar la segregación. • Dosificación: ➤ La dosificación del cemento, los áridos, y en su caso las adiciones se realizara en peso; y ajustándose a lo especificado para conseguir una adecuada uniformidad entre amasadas. ➤ Todos los instrumentos de dosificación, indicadores, tolvas, básculas, etc. deben estar en perfecto estado y ser lo suficientemente precisos. ➤ El árido se dosificará en peso, al menos en dos fracciones granulométricas, para tamaños no mayores de 20 mm; y tres fracciones para tamaños mayores. Se realizaran las correcciones por humedad, para que la mezcla no lleve mas agua de la necesaria. • Amasado: ➤ El amasado del hormigón se realizara mediante uno de los procedimientos siguientes: totalmente en amasadora fija, iniciado en amasadora fija y terminado en amasadora móvil antes de su transporte; y solamente en amasadora móvil antes de su transporte. ➤ Sea cual se el tipo de amasadora empleado deben mezclar los componentes del hormigón de modo que se obtenga una mezcla homogénea y completamente amasada. ➤ La duración del amasado dependerá del tipo y composición del hormigón y del tipo de amasadora. • Transporte: ➤ Para el transporte del hormigón se usarán procedimientos adecuados que mantengan las masas en las condiciones estipuladas sin sufrir cambios en su homogeneidad. ➤ El tiempo transcurrido entre la adicción de agua de amasado al cemento y a los áridos, y la colocación del hormigón no debe superar la hora y media. Este tiempo será inferior si el clima es tan caluroso que pueda afectar a un rápido fraguado del hormigón. ➤ El volumen de hormigón transportado no debe exceder el 80% del volumen del tambor de la amasadora móvil.		

2.1.3 Ejecución del hormigón armado



ETAPA: Fabricación y transporte a obra del hormigón

RECOMENDACIONES:

- Los equipos de transporte deberán estar exentos de residuos de hormigón o mortero endurecido, para lo cual se limpiaran cuidadosamente antes de proceder a la carga de una nueva masa fresca.
- **Designación y características:**
 - El hormigón fabricado en central podrá designarse por propiedades o por dosificación; pero en ambos casos deberá especificarse como mínimo: consistencia, tamaño máximo del árido, ambiente de exposición, resistencia característica a compresión, contenido de cemento, y el tipo de hormigón al que va destinado (masa, armado, pretensado).
 - Si el peticionario solicita hormigón con características especiales el suministrador deberá aportar todos los datos y garantías antes de comenzar el suministro.
 - Antes del comienzo del suministro el peticionario podrá pedir al suministrador una demostración satisfactoria de que los materiales componentes que van a emplearse cumplen la EHE.
- **Entrega y recepción:**
 - Cada carga de hormigón tendrá su hoja de suministro que estará en todo momento a disposición de la dirección de obra.
 - El comienzo de la descarga del hormigón desde el equipo de transporte marca el principio del tiempo de entrega y recepción del hormigón.
 - La dirección de obra (o la persona delegada por él) es el responsable del control de recepción, tomando las muestras necesarias y realizando los ensayos precisos.
 - Cualquier rechazo de hormigón basado en los resultados de los ensayos de consistencia deberá ser realizado durante la entrega.
 - Esta prohibida la adicción al hormigón de cualquier cantidad de agua u otra sustancia que pueda alterar la composición original de la masa fresca.
 - El suministrador podrá ,bajo la autorización de la dirección de obra y cuando el asiento en el cono de Abrams es menor de lo especificado, añadir aditivo fluidificante para aumentarlo sin que rebase las tolerancias indicadas; y siempre que el equipo de transporte disponga de sistema de dosificación adecuado.

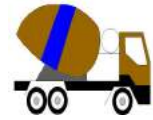
EL AGUA DE AMASADO EN LA DOSIFICACION:

Un exceso de agua de amasado es un peligro reconocido y los perjuicios aparecen normalmente a una edad demasiado tardía para ser remediados sin costes excesivos. Ejemplos:

- Fisuras en cimentaciones, debidas a la alta retracción y a la débil resistencia a tracción del hormigón.
- Deterioros en pavimentos por efecto de los ciclo hielo–deshielo. Con consistencias muy fluidas existe el peligro que disminuya el contenido de aire ocluido, y por tanto la resistencia a dichos ciclos.
- Deterioros en superficies encofradas, el exceso de agua provoca la exudación por los encofrados.
- Porosidad, perjudicando la durabilidad del hormigón.

2.1.3 Ejecución del hormigón armado

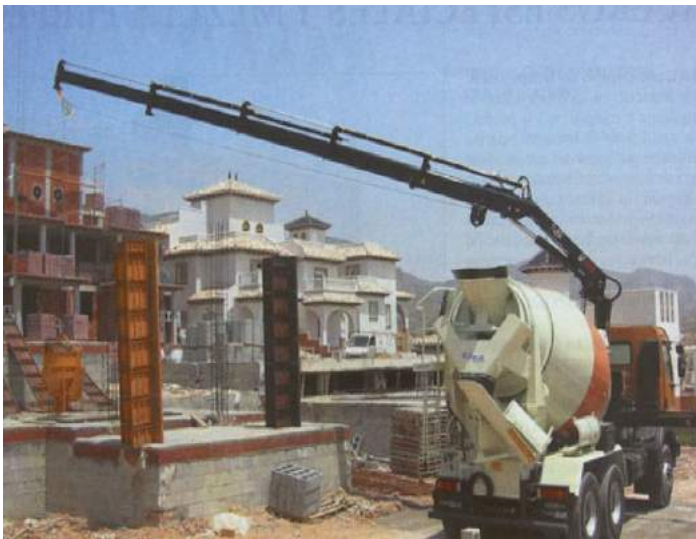
ETAPA: Fabricación y transporte a obra del hormigón



FOTOGRAFIA:



En la actualidad todas las centrales de hormigón cuentan con silos y naves independientes para almacenamiento. En la dosificación y la mezcla se emplean máquinas muy precisas y totalmente informatizadas para evitar cualquier error en la fabricación. Cuando el hormigón fresco está listo lo introducen en los tambores de los camiones y lo transportan a la obra.



Una vez el hormigón fresco está listo, los camiones hormigonera lo llevan a la obra amasándolo y homogeneizándolo durante el transporte gracias al giro del tambor. El mercado actual ofrece camiones muy completos con bomba, cintas transportadoras, precisos equipo de dosificación e incluso grúa propia.



Con la llegada a obra del hormigón fresco se procederá a realizar el ensayo de consistencia del hormigón mediante el cono de Abrams. Este permite medir el asiento del hormigón y es la única herramienta de que dispone la dirección de obra para rechazar un hormigón. Por lo general en edificación el asiento no será inferior de 6 cm., y nunca mayor de 15 cm.

2.1.3 Ejecución del hormigón armado		
ETAPA: Puesta en obra del hormigón: colocación y compactación		
NORMATIVA: EHE (Art.70)		
DESCRIPCION: El hecho de que un hormigón llegue a obra con la consistencia adecuada y bien dosificado no es razón para no extremar los cuidados durante su puesta en obra. Esta se dividirá en dos fases: - Colocación: es la operación con la que se introduce el hormigón fresco en el interior de los moldes. Debe evitarse la segregación de la masa y conseguir que la masa llene perfectamente todas las esquinas del encofrado y recubra bien las armaduras. - Compactación: es la operación mediante la que se dota a la masa de la máxima compacidad compatible con la dosificación del hormigón.		
RECOMENDACIONES: Colocación: ➤ No se colocarán masas que acusen un principio de fraguado. ➤ Se adoptarán todas las medidas para evitar la segregación de la masa. ➤ No se hormigonará hasta que no se tenga la conformidad de la dirección de obra, tras revisar las armaduras ya colocadas en su posición definitiva. ➤ No se colocarán en obra capas o tongadas de hormigón cuyo espesor sea superior al que permita una compactación completa de la masa. Como regla general el espesor estará entre 30 y 60 cm. ➤ No desplazar ni dañar las armaduras, ni los encofrados durante el hormigonado. ➤ El vertido del hormigón en caída libre, sino se realiza desde pequeña altura (inferior a 2 m.) produce la disgregación de la masa; además puede dañar los encofrados o desplazar las armaduras. ➤ La dirección del vertido del hormigón en el encofrado debe ser la vertical, haciendo que la masa pase por un trozo corto de tubo mantenido verticalmente. ➤ No depositar la masa en un punto confiando que por si misma se escurrirá, rellenando el encofrado. ➤ No arrojar el hormigón con pala a gran distancia, distribuirlo con rastrillos o hacerlo avanzar más de 1 m. dentro de los encofrados. Compactación: ➤ Se emplearan procedimientos adecuados según las mezclas, de forma que se eliminen los huecos y se obtenga un perfecto cerrado de las masas. ➤ Se prolongara la compactación hasta que refluya la pasta a la superficie y deje de salir aire. ➤ Un exceso de compactación provoca la segregación del árido grueso que se depositaría en el fondo de los encofrados en hormigones normales; y ascendería a la superficie en hormigones ligeros. ➤ Una compactación insuficiente provoca la formación de coqueras en la masa y en la superficie de las piezas en contacto con el encofrado. ➤ Dependiendo del tipo de consistencia de la masa se recomienda vibrados, mas enérgicos cuanto mas seca sea la masa, y picado con barra cuando la masa sea fluida. ➤ Vibrar por descuido las armaduras puede provocar la pérdida de adherencia entre acero y hormigón.		

2.1.3 Ejecución del hormigón armado

ETAPA: Puesta en obra del hormigón: colocación y compactación



FOTOGRAFIA:



El sistema más empleado en la puesta en obra del hormigón es el vertido desde el dispositivo de transporte a una cuba, y de este a los encofrados o moldes. Existen otros métodos como el bombeo o la proyección de hormigones o morteros que se emplean mucho en reparaciones.

(Ver Cáp. II Apto 2.3.1)



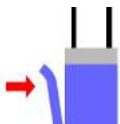
La compactación se suele realizar mediante vibrado. Este sistema disminuye el rozamiento entre las distintas partículas del hormigón y por la acción de la gravedad este tiende a asentarse rellenando todos los huecos del molde, adaptándose a las superficies del mismo y al contorno de las barras de armado.



En el mercado existen muchos tipos de vibradores, de diversos tamaños y frecuencias. Por lo general para los hormigones estructurales normales se suelen emplear frecuencias de unos 6000 Hz. La amplitud y la potencia dependerán del volumen del elemento a vibrar; los de aguja de pequeña potencia van bien en pilares, vigas, forjados, etc.

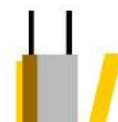
2.1.3 Ejecución del hormigón armado		
ETAPA: Puesta en obra del hormigón: juntas de hormigonado		
NORMATIVA: EHE (Art.71)		
DESCRIPCION: Lo ideal al ejecutar una estructura de hormigón es que el hormigonado se haga continuo, pero en la practica, salvo excepciones, es imposible de conseguir y son muchas las juntas que hay que dejar debido a tener que continuar el hormigonado la jornada siguiente, por mal tiempo en época de heladas, por la falta de materiales, etc. Además la ejecución de estas juntas puede ser necesaria para evitar que se produzcan fisuras de retracción. Los dos problemas fundamentales que presentan las juntas de hormigonado y que pueden ser causa de fallos en el hormigón son: la mala elección de la zona donde se va a dejar la junta, y el deficiente tratamiento que se le haya dado.		
RECOMENDACIONES: • Las juntas de hormigonado estarán previstas en el proyecto. Si se precisan juntas no previstas se hará en los lugares aprobados por la dirección de obra y preferentemente sobre los puntales de la cimbra. • Se situaran en dirección lo mas normal posible a las tensiones de compresión y donde su efecto sea lo menos perjudicial, alejándolas de las zonas de fuertes tracciones. • La dirección de obra dará el visto bueno de la junta para poder continuar con el hormigonado. • Antes de reanudar el hormigonado se retirará la capa superficial de mortero dejando los áridos al descubierto, y se limpiará la junta de toda suciedad. Los productos de limpieza no deben alterar la adherencia entre la pasta y árido grueso. • Esta prohibido hormigonar si la superficie de la junta ha sufrido los efectos de las heladas y no se ha retirado previamente las partes dañadas. • La superficie de la junta debe tratarse para que la discontinuidad constructiva no se traduzca en discontinuidad estructural. Se deben emplear hormigones semejantes a ambos lados de la junta (no poner en contacto hormigones de cemento portland con los aluminosos), y la superficie de la junta deberá garantizar la adherencia entre ambos hormigones. • Si se quiere asegurar aun mas la continuidad de la junta cabe la posibilidad de utilizar un adhesivo epoxi que se extenderá sobre la superficie limpia y seca del hormigón.		
FOTOGRAFIA:  Un sistema muy común de resolver las juntas es dejando en el hormigón unas barras de acero de espera, que actuaran como engranaje entre el hormigón viejo y el nuevo. Después se limpia la junta de mortero superficial y se humedece sin encharcarla, pasando después a hormigonar.		

2.1.3 Ejecución del hormigón armado		
ETAPA: Puesta en obra del hormigón: hormigonado en tiempo frío y caluroso		
NORMATIVA: EHE (Art.72 y 73)		
DESCRIPCION: La temperatura ambiente incide sobre las características del hormigón fresco y puede influir decisivamente sobre las características y el comportamiento del hormigón endurecido. Los efectos en tiempo frío son la disminución de la velocidad de hidratación del cemento a medida que desciende la temperatura; y la congelación del agua de amasado que incrementa su volumen y crea tensiones internas que pueden causar fisuración. Por el contrario en tiempo caluroso se produce la pérdida de trabajabilidad por aumento de la velocidad de hidratación del cemento y evaporación del agua de amasado, el riesgo de fisuras por retracción aumenta; y disminuyen las resistencias a compresión por mayor sensibilidad a la falta de curado y por el posible aumento de la relación A/C para mejorar la trabajabilidad.		
RECOMENDACIONES: • Tiempo frío: ➤ La temperatura de la masa de hormigón en el momento de su colocación no será inferior a 5°C. ➤ Se prohíbe verter hormigón sobre elementos (moldes, etc.) cuya temperatura sea inferior a 0°C. ➤ Se suspenderá el hormigonado si se prevé que en las 48 horas siguientes puede descender la temperatura por debajo de los 0°C. En caso de que no se pueda evitar se dispondrán de las medidas necesarias para garantizar que no se producen daños. Las medidas mas usuales son: ○ Empleo de relaciones A/C lo más bajas posibles. ○ Empleo de mayor contenido de cemento o de mayor categoría resistente. ○ Dispositivos de cobertura que mantengan aislados del frío el hormigón recién vertido. ➤ Se podrán usar aditivos anticongelantes bajo autorización expresa de la dirección de obra. ➤ Se puede recurrir a calentar los áridos o el agua de amasado para permitir la normal hidratación del cemento y evitar los problemas de la helada. • Tiempo caluroso: ➤ Se evitará la evaporación del agua de amasado, sobre todo durante el transporte. ➤ Los materiales constituyentes del hormigón y los encofrados estarán protegidos del soleamiento. ➤ Colocado el hormigón se protegerá del sol y del viento para evitar que se deseeque. ➤ Si la temperatura es superior a 40°C o hay viento excesivo, se suspenderá el hormigonado; salvo que se tomen medidas de protección y así lo autorice la dirección de obra.		
FOTOGRAFIA: Cuando el tiempo es muy frío con el calor de hidratación desprendido por el cemento, es suficiente con utilizar medidas de protección consistentes en aislantes térmicos como planchas de poliestireno y poliuretano expandido, mantas, mantas de fibra de vidrio, etc.		

2.1.3 Ejecución del hormigón armado		
ETAPA: Curado		
NORMATIVA: EHE (Art.74)		
DESCRIPCION: Conjunto de operaciones necesarias para que durante el fraguado y primer endurecimiento del hormigón el ambiente en que se encuentre posea unas condiciones adecuadas de temperatura y humedad; para que la hidratación del cemento sea un éxito y no se produzcan pérdidas de agua de amasado que puedan provocar tensiones internas y con ellas la fisuración de la masa. La duración del curado dependerá del tipo y clase de cemento, de la temperatura y humedad del ambiente, etc.		
RECOMENDACIONES: • El curado podrá realizarse manteniendo húmedas las superficies de los elementos de hormigón mediante riego directo siempre que no se produzca deslavado, y el agua empleada cumpla lo prescrito por la EHE (ver aptdo. 2.1.2). • Se podrían emplear otros sistemas de curado siempre que sean capaces de retener la humedad de la masa y no contengan sustancias nocivas para el hormigón. Los mas empleados: ➤ Láminas de plástico. ➤ Aplicación de productos de curado que formen membranas de protección. ➤ Protección con materiales humedecidos (sacos de arena, paja, arpillera, etc.) • Si emplean técnicas especiales (Ej.: curado al vapor) se precisa la autorización de la dirección de obra. • En unas condiciones ambientales medias el curado se mantendrá durante los primeros siete días, hasta que el hormigón haya alcanzado aproximadamente el 70% de la resistencia de proyecto. • Un buen curado evitara futuros problemas de durabilidad y resistencias mecánicas. • Se podrá recurrir a la aplicación de productos de curado que formen membranas de protección. El uso de estos productos se puede usar se forma independiente o combinándolo con los otros sistemas descritos.		
FOTOGRAFIA: 		

2.1.3 Ejecución del hormigón armado

ETAPA: Desencofrado



NORMATIVA: EHE (Art.75)

DESCRIPCION: Los encofrados y demás elementos que soportan las cargas de los elementos estructurales durante su construcción, deberán mantenerse en posición hasta que el hormigón haya alcanzado la resistencia necesaria para que sean capaces de soportar, con el suficiente margen de seguridad, su propio peso y el de las cargas permanentes o temporales que puedan actuar sobre ellos durante su construcción.

RECOMENDACIONES:

- La retirada se realizará sin producir sacudidas ni choques en la estructura. Es recomendable cuando los elementos sean de importancia el empleo de cuñas, cajas de arena, gatos, etc. para lograr un descenso uniforme de los apoyos.
- Se tendrán en cuenta las condiciones ambientales (Ej.: heladas) y la necesidad de adoptar medidas de protección una vez que el encofrado haya sido retirado.
- El plazo mínimo de desencofrado dependerá de la evolución de la resistencia del hormigón, de las condiciones de curado, de las características de la estructura, cargas que soportan, etc. De manera orientativa y en función de la temperatura se dan los siguientes periodos de tiempo:

Temperatura superficial del hormigón	≥24°	16°	8°	2°
Encofrado vertical	9 horas	12 horas	18 horas	30 horas
Losas: fondos de encofrado	2 días	3 días	5 días	8 días
Losas: puntales	7 días	9 días	13 días	20 días
Vigas: fondos de encofrado	7 días	9 días	13 días	20 días
Vigas: puntales	10 días	13 días	18 días	28 días

- Si se producen periodos de helada durante el endurecimiento se deben aumentar los valores de la tabla.
- Independientemente de los valores de la tabla, en condiciones normales de temperatura los encofrados verticales se quitan a los dos o tres días; mientras que los horizontales se dejan unos cinco o seis días.

FOTOGRAFIA:



En los forjados el desencofrado se realiza a los cuatro o cinco días, retirando la totalidad de los tableros y dejando algunas alineaciones de sopandas apuntalando el techo. Estas se retirarán a los 25-28 días hasta que el hormigón haya alcanzado su resistencia característica. El empleo de desencofrantes debe estar autorizado por la dirección de obra, y no provocarán daños en el hormigón.

BIBLIOGRAFIA

- FERNANDEZ CANOVAS, Manuel. **Patología y terapéutica del hormigón armado**
- MUÑOZ HIDALGO, Manuel. **Diagnosis y causas en patología de la edificación**
- ANEFHOP y OFICEMEN. **Instrucción de hormigón estructural: EHE**
- GEHO-CEB. **Durabilidad de estructuras de hormigón. Guía de diseño CEB**
- CONSTRUNARIO. **Diccionario de la construcción 2003**