



Intervención en planta baja de Edificio con daños graves en pilares de hormigón armado. Se han reforzado los pilares de fachada en planta baja aumentando su sección (*con hormigón armado y revestimiento de chapa de acero como encofrado perdido*), creando unas pantallas rígidas y procurando mantener una simetría en planta. También se observa el empleo de un Apeo supletorio, destinado para facilitar las labores de refuerzo y un Apeo de refuerzo de recuperación mediante la ejecución de un pilar formado por perfiles tubulares de acero laminados soldados a forjado de planta baja.

EL TERREMOTO DE LORCA de 11 de mayo del 2011, INTERVENCIONES ANTISISMICAS EN EDIFICIOS DAÑADOS POR SISMO

UNA VISION DE LAS INTERVENCIONES REALIZADAS EN EDIFICACIONES DE LORCA

Pedro Sánchez Gálvez
Arquitecto Técnico e Ingeniero de Edificación
Técnico Responsable de obras del SMS

Intervenciones antisísmicas en Edificios dañados por sismo. El terremoto de Lorca del 11 de mayo de 2011.

1.- Adecuación Antisísmica. Normativa sismorresistente.

Es muy común, que, en numerosas zonas afectadas por el fenómeno sísmico, en el caso de nuestra Región (Lorca, la Paca, Mula, Lorquí, Cehegín, Bullas), el tema de restauración, rehabilitación y conservación de la edificación urbana se articule después (del sismo) y extiende su propio campo de interés por la necesidad de asegurar a las estructuras un grado suficiente de adecuación sísmica.

Las operaciones para reparar o prevenir son diferentes tan solo en apariencia; en realidad forman parte de una única actitud que podríamos definir como "antisísmica", dirigida a potenciar las ofertas de resistencia de las estructuras.

Lo que quiere decir que no se limitan a las operaciones de recuperación de las áreas urbanísticas dañadas por el terremoto, a través de la reparación de los edificios lesionados, sino a desplazar la atención hacia la necesidad de ser conscientes del riesgo, y, por tanto, sobre la necesidad de afrontarlo adecuadamente, con las actuaciones de refuerzo preventivo de las estructuras dañadas.

Desgraciadamente, como se ha visto en lo ocurrido en Lorca el pasado 11 de Mayo de 2011, es más bien complejo aplicar este concepto a las normativas oficiales a causa de las dificultades reales que el problema comporta, pero sobre todo, por los muchos obstáculos de naturaleza psicológica; de echo la elección de un nivel de riesgo aceptable requieren que se afronten cuestiones extremadamente delicadas como son la definición del número aceptable de las víctimas como consecuencia del sismo, sin contar después el problema económico que comporta, como el cálculo de los costes monetarios, directos e indirectos. (Petrini V., "Il rischio sísmico", en *Ingegneria sísmica*, vol. 1º, del Internacional Centre for Mechanical Sciences. Edición Italiana: CISM, Udine, 1979.).

La obra de intervención preventiva requiere pues la definición de un abanico de problemas que van desde la clasificación de los Centros del Patrimonio Históricos y de la antigüedad de los edificios, hasta la definición de las áreas de intervención para la adecuación sísmica y a la de los niveles para los cuales es oportuno para que esta quede asegurada; después se deben establecer las propiedades de intervención y los instrumentos fiscales y financieros; finalmente es necesario poner a punto las técnicas de intervención.

Los daños en el patrimonio histórico y cultural en terremotos relativamente moderados, que se dan con cierta frecuencia en España, hacen aconsejable acometer un plan especial de estudio y protección de monumentos histórico-artísticos susceptibles de ser dañados por terremotos.

Las normas técnicas para las construcciones en zonas sísmicas (NCSE-02) regulan todas las construcciones cuya seguridad sea indispensable para la integridad pública, independientemente de su uso y del nivel de daño atendible, de cara a los ciudadanos y las mismas estructuras.

El objetivo es dotar a los edificios que se construyen en zona sísmica de un cierto grado de resistencia a las acciones sísmicas, haciéndolos compatibles con los límites económicos disponibles o impuestos.

Quedan todavía por precisar la elección del grado de seguridad exigida, la entidad del sismo al que referirlo y los métodos de control que se deben aplicar. En este sentido, generalmente se han aceptado los criterios ya implantados en la

normativa antisísmica de algunos países, como la NT E.030 diseño sismo resistente en Perú, en España la NCSE-02, y que se relacionan a continuación:

a) De importancia normal o común: Las viviendas y las construcciones comunes, como hoteles, restaurantes, oficinas, depósitos e instalaciones industriales (cuya falla no acarree peligros adicionales de incendios, fugas de contaminantes, etc.), deberían poder soportar en régimen elástico los efectos los terremotos de intensidad con periodo de retorno del orden de la vida media de los edificios (alrededor de 50 años), en la zona a la que pertenecen; deberían tener después las suficientes reservas de resistencia, además del régimen elástico, para poder soportar sin llegar al colapso, si bien con graves daños, el terremoto más severo atendible en la zona.

a) De importancia media o importantes: Edificaciones donde se reúnen gran cantidad de personas como teatros, estadios, centros comerciales, establecimientos penitenciarios, o que guardan patrimonios valiosos como museos, bibliotecas y archivos especiales.

b) De importancia especial: Los edificios esenciales cuya función no debería interrumpirse inmediatamente después que ocurra un sismo, como las que albergan a personas imposibilitadas para ponerse a salvo en los momentos de peligro (escuelas, hospitales, residencias tercera edad, centros de salud, etc.), los edificios públicos con utilidad primaria, las instalaciones de telecomunicaciones, cuarteles de bomberos y policías, edificios que puedan servir de refugio después de un desastre, y también se incluyen los edificios industriales para la producción de energía, grandes hornos, depósitos de materiales inflamables o tóxicos, deberían estar en grado de resistir el más severo suceso natural atendible en la zona (pero esta exigencia, por lo menos en general, es difícil de satisfacer).

Es la primera vez en varias décadas que un extenso parque inmobiliario de una ciudad española se somete a un movimiento de suelo fuerte. Dada la variada edad de la edificación en Lorca, se puede observar el comportamiento de edificios realizados bajo las normas del 62, 68, 74, 94 y 2002, todas ellas de aplicación y obligado cumplimiento en Lorca.

Como ya hemos comentado en otro apartado, todos los estudios de vulnerabilidad y riesgo apuntan a la prevaencia de daños en edificios antiguos y mayor seguridad en edificios jóvenes.

Sin embargo, en Lorca no se observa una reducción de la vulnerabilidad con los edificios tecnológicos o jóvenes. En algunos distritos censales como el 1027, la mayoría de edificios dañados son tecnológicos de reciente edificación.

Esto puede deberse a la propia expansión urbana cuyos ensanches modernos abandonan el suelo duro de la orografía más alta para ocupar los suelos blandos del valle del Guadalentín, donde el movimiento es amplificado. Sin embargo, las normas obligaban a considerar el suelo en el cálculo sísmico por lo que estos edificios deberían poseer mayores prestaciones sismorresistentes, en concreto la NCSE-02, en su apartado 2.4 Clasificación del terreno. Coeficiente del terreno "C".

*Sin embargo, hay que tener en consideración **que el coeficiente "C"** no contempla el posible colapso del terreno bajo la estructura durante el movimiento sísmico debido a la inestabilidad del terreno como en el caso de arcillas muy blandas o sensibles, densificación de suelos, hundimiento de cavidades subterráneas, movimientos de laderas, suelos muy heterogéneos (escombros, vertederos) en espesores importantes, etc. Especialmente habrá de analizarse la posible licuación de los suelos susceptibles a la misma.*

La tipología constructiva de los edificios tecnológicos actuales en Lorca es un problema desde el punto de vista sismorresistente.

1.1.- Las acciones del sismo.

Durante un terremoto, las masas inertes de las edificaciones se oponen al movimiento transmitido a los cimientos; así se manifiestan las fuerzas de inercia; de ellas, las verticales, generadas por el movimiento espasmódico (*contracciones de la estructura*), tienen normalmente un efecto irrisorio porque los coeficientes de seguridad empleados en el cálculo de las cargas verticales son suficientemente altos para asegurar la resistencia al sismo (*sin embargo son excepcionales las vibraciones verticales que afectan a los porches o cubiertas con grandes luces y las estructuras en voladizo, aumentando su momento y pudiendo llegar a trabajar de forma invertida*); al contrario, para las fuerzas de inercia horizontal, provocadas por el movimiento ondulatorio, se requiere una medida específica, parecida a las que se adoptan para las cargas debidas al viento. Sin embargo, mientras las cargas de viento actúan con un empuje proporcional a todas las superficies de la fachada, que repercute en toda la edificación, las cargas debidas al sismo lo son a las masas de todas las partes del edificio, o sea actúa en todos los nudos de los elementos estructurales del edificio: todo ello se debe tener en cuenta cuando, para reforzar, y colocar nuevos elementos estructurales que ponen en juego nuevas fuerzas de inercia que influyen también en el nuevo estado tensional de la estructura- que habrá cambiado al aumentar la rigidez de sus elementos de sustentación.

Por lo que se refiere a la entidad de las fuerzas de inercia, se considera que son proporcionales a las aceleraciones, las cuales para terremotos de 9º y 10º en la escala Mw., van desde 50-100 cm. /s² a 100-250 cm. /s². Por ejemplo, *para una aceleración máxima del terreno correspondiente al 25 % de la aceleración de gravedad, una construcción muy rígida podría resistir los efectos del sismo si todas sus partes estuvieran estructuralmente en grado de resistir a fuerzas horizontales en cada punto iguales al 25 % de los pesos de las diferentes partes.* Por ello tratamos de establecer, en función del grado de las sacudidas de las diferentes localidades, una resistencia adecuada a los empujes horizontales provocados por el sismo, y esto no se hace tan solo para los edificios estáticamente ruinosos, sino también para los que son estructuralmente resistentes a las cargas ordinarias. *Para profundizar, en el campo teórico, sobre comportamiento de las estructuras sometidas a la acción sísmica, ver: Castiglioni A., "Introduzione elladinamica delle strutture. Tamburini, Milán 1975.*

1.2.- Peligrosidad sísmica.

La peligrosidad sísmica en Lorca se puede calificar de alta, en el contexto de la Península Ibérica, si bien es moderada en un contexto mundial. Dicha peligrosidad se explica por la localización de la población en la traza del sistema de fallas activas desde Lorca, Totana y Alhama de Murcia, con ocurrencia de terremotos significativos en los últimos años y en el pasado. Además, se han propuesto procesos de disparo entre series sísmicas relativamente cercanas en el espacio (Benito et al. 2007) que parecen confirmarse también por la proximidad temporal de dichas series (Mula, 1999; Bullas, 2002, La Paca, 2005 y Lorca, 2011). Este hecho, unido al daño observado por terremotos de baja-moderada magnitud, confiere un riesgo sísmico relevante a la población.

Los diversos estudios de peligrosidad desarrollados hasta la fecha proporcionan resultados de aceleración esperada en roca para la probabilidad de excedencia del 10 % en 50 años, empleada en el diseño de viviendas convencionales, en un rango de variación entre 0.12 g y 0.24 g (Buforn et al. 2005; García-Mayordomo, 2005; Benito et al., 2006; García-Mayordomo et al. 2007; **Intervenciones antisísmicas en Edificios dañados por sismo. El terremoto de Lorca del 11 de mayo de 2011.**

García Blanco 2009; Crespo 2011), estando los de la norma española NCSE-02 en el límite inferior. Ninguno de estos estudios ha considerado las fallas como unidades independientes (con peso relevante) en el cálculo de la peligrosidad; hecho que se traduce en la reducción de la misma en la proximidad de las fallas, diluyéndose en zonas más amplias.

Los terremotos de control, que dominan la peligrosidad para la probabilidad de excedencia asumida (10 % en 50 años) corresponden a eventos de magnitud baja-moderada Mw. (4.5-5) con distancias fuente-emplazamiento cortas (0-10 Km.) (Gaspar-Escribano et al. 2008), es decir, similares a los del 11 de mayo de 2011. De este modo se constata que el patrón de Sismicidad observado en la zona, compuesto por sismos frecuentes de magnitud en torno a 5.0, constituye la mayor contribución a la peligrosidad para la probabilidad que se considera oficialmente en el diseño sismorresistente de viviendas convencionales.

En los registros del terremoto de Lorca, a distancias de 20 Km. los valores son parecidos a los valores anteriores registrados en la red del IGN para sismos de **magnitud similar (de 5º a 6º). A distancia epicentral de 5 Km.**, que de hecho podrían representar distancias inferiores si tenemos en cuenta la dimensión de la ruptura, **muestran valores de aceleraciones por encima de 100 cm./s²**. No existen hasta el momento registros a distancias tan cortas.

Esta observación nos da indicación de la gran importancia que tuvo la corta distancia y la escasa profundidad de la ruptura sísmica en la intensidad del movimiento registrado en la ciudad de Lorca, lo que podría contribuir a explicar el daño causado especialmente en viviendas de entre 3 y 5 plantas, con periodo fundamental de vibración en el rango de los cortos periodos.

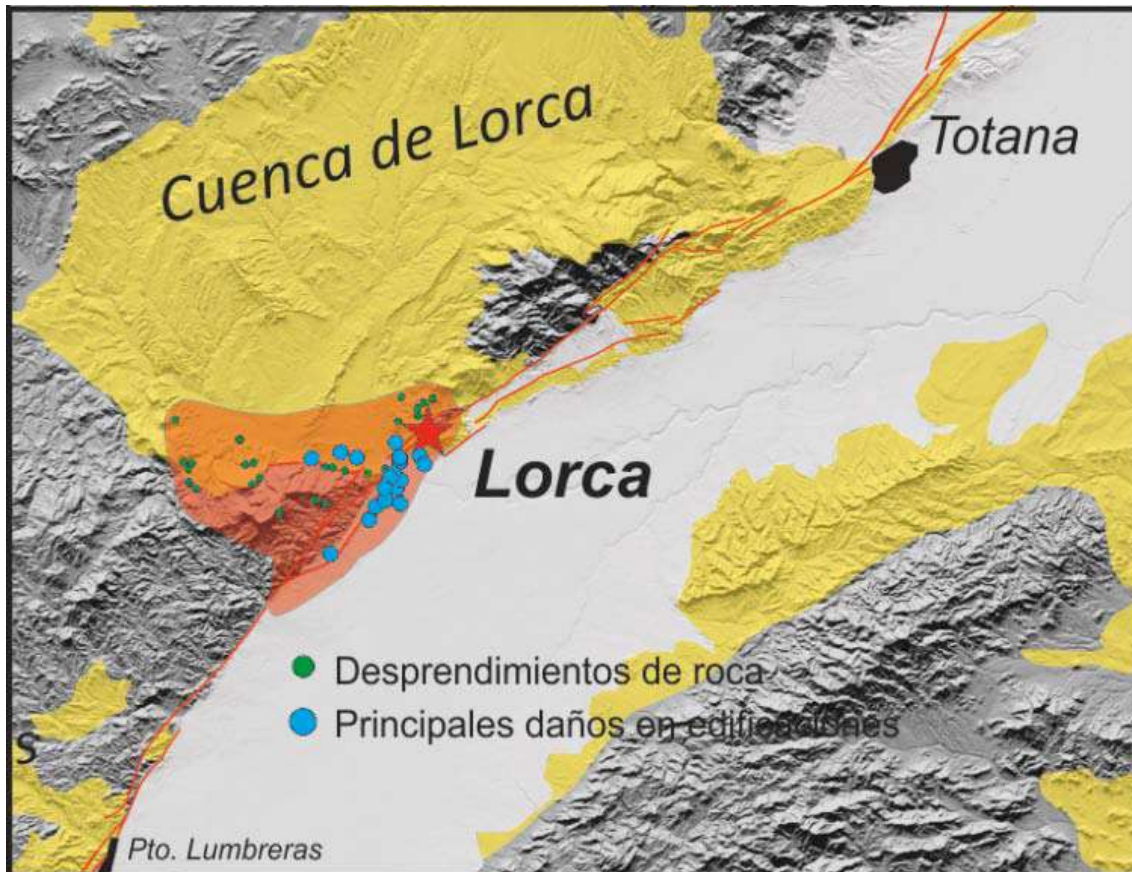
Como recomendaciones y reflexiones, a las lecciones aprendidas en el terremoto de Lorca de 2011 y en los anteriores de 1999, 2002 y 2005 en nuestra Región deberían ser tenidas en cuenta en la revisión de la normativa, destacando especialmente:

- ***Necesidad de modelizar las fallas activas e incluirlas como unidades independientes en el cálculo de la peligrosidad, a fin de obtener aceleraciones más realistas en la proximidad de dichas fallas.***
- ***Necesidad de ajustar las formas espectrales de la normativa con las deducidas de los registros reales.***
- ***Necesidad de determinar posibles efectos de resonancia entre el comportamiento dinámico del suelo y el de las estructuras.***

1.3.- Geología de la zona. El Terreno

La serie sísmica de Lorca fue producida por el movimiento de un pequeño tramo de la Falla de Alhama de Murcia. Esta afirmación está sustentada por la localización de los dos terremotos principales, los mecanismos focales resultantes, la distribución de los daños en las edificaciones y los efectos geológicos observados el terreno.

- **En suelos duros** se comportan mejor las estructuras flexibles (*metálicas*), mientras que **en terrenos blandos** se comportan mejor las estructuras rígidas (*hormigón armado*), como las de la mayoría de los edificios de Lorca. Los edificios altos situados en terrenos blandos, suelen sufrir más daños que los de alturas medianas bajas.



Mapa esquemático en el que se resumen la distribución de los daños y efectos geológicos generados por el terremoto de Lorca. La estrella marca el epicentro.

La sacudida sísmica se propagó desde el epicentro hacia la ciudad de Lorca, tal y como señalan la polaridad de los daños y los efectos geológicos identificados en campo.

La asociación de los terremotos de Lorca a la Falla de Alhama de Murcia podría implicar la ocurrencia de nuevos terremotos asociados con otros tramos de la falla. El estudio del cambio de esfuerzos local producido por el terremoto de Lorca en relación con los segmentos Gomar-Lorca y Lorca-Totana de la misma falla debe ser analizado con prontitud.

Se tiene constancia histórica de que la ocurrencia de series sísmicas en la zona de Lorca suele estar compuesta por varios terremotos separados un tiempo determinado. Este hecho está posiblemente relacionado con la interacción dinámica entre segmentos tectónicos de la misma falla, como se ha comentado en el párrafo anterior. Este proceso debe ser constatado mediante la obtención de datos más antiguos a través de las técnicas geológicas adecuadas (paleo-sismología) y en todo caso no debe desecharse la posibilidad de otro terremoto de similares características en entorno próximo.

Los elevados daños generados por un terremoto de magnitud moderada como este, pero muy próximo a una zona poblada apoya la necesidad de considerar la posición, geometría y parámetros geológicos de las fallas en los estudios de peligrosidad sísmica dirigidos a mejorar las normas que regulan la gestión del riesgo sísmico.

Los efectos geológicos superficiales indican hasta la fecha que el terremoto alcanzó una intensidad de efectos geológicos y ambientales (ESI-07) de VII. Es muy importante sin embargo profundizar en la identificación y cartografía de estos efectos tanto a través de reconocimientos detallados de campo, como del análisis de imágenes de satélite de alta resolución posteriores al evento para ajustar esta catalogación y con el fin de obtener datos que nos ayudaran a entender los efectos de terremotos ocurridos en el pasado y los que ocurran en el futuro próximo.

La experiencia de este terremoto y la práctica común en la mayoría de países sometidos al riesgo sísmico indica que debería establecerse un protocolo de actuación oficial que incorpore la realización de un Informe Geológico sobre los terremotos de magnitud superior a 5 que se produzcan en España y en zonas próximas de la Península Ibérica. Dicho informe debería incluir un reconocimiento geológico de la zona epicentral, determinada con datos del IGN, un reconocimiento de la fuente sísmica si se ha identificado y la catalogación e inventariado de los efectos geológicos asociados (deslizamientos, caídas de rocas, licuefacciones, etc.). La elaboración de dicho informe comenzaría a las pocas horas de confirmarse el evento, su localización y su magnitud (datos IGN) y se llevaría a cabo por una comisión de expertos reconocidos de instituciones públicas, **investigando la posible interacción existente entre el tipo suelo – y estructura:**

- Necesidad de determinar posibles efectos de resonancia entre el comportamiento dinámico del suelo y el de las estructuras.

Fenómeno de modificación de la respuesta natural de un sistema estructural debido a que el suelo altera, no sólo las condiciones de apoyo, que se pueden suponer inicialmente fijas, sino también el amortiguamiento total de la construcción. La interacción suelo-estructura alarga los periodos de vibración naturales evaluados a partir de un empotramiento de la estructura en su cimentación y aumenta el amortiguamiento total. (Sarriá, 1995)

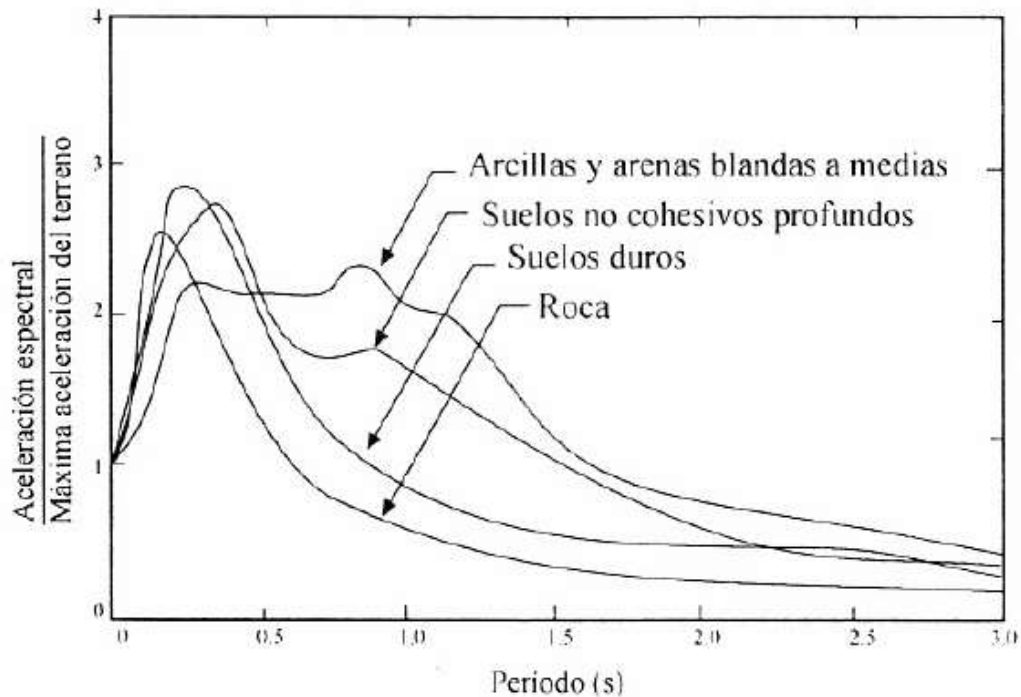
EUROCÓDIGO 8: Los efectos de la interacción suelo-estructura serán tenidos en cuenta en los siguientes casos que:

- Estructuras en las que se necesita considerar efectos de segundo orden P- δ
- Estructuras con cimentaciones masivas o profundas como pilas de puentes, cajones offshore o silos.
- Estructuras altas y esbeltas como torres y chimeneas
- Estructuras sobre suelos muy flojos, con valores medios de v_s inferiores a 100 m/s

EN LA MAYOR PARTE DE ESTRUCTURAS DE EDIFICACIÓN ES BENEFICIOSO. SALVO LAS SINGULARES INDICADAS EN EC-8

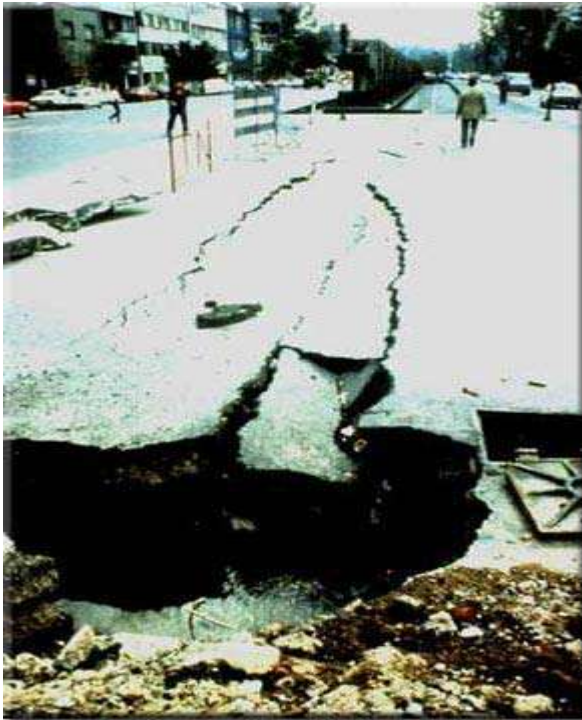
Los terrenos heterogéneos o de relleno amplifican las sacudidas y cuando contienen agua debido a las vibraciones del sismo, **pueden licuarse**, perdiendo su capacidad portante. La importancia de la investigación geotécnica es clave, ya que la respuesta sísmica depende también de las características del terreno. **Es importante evaluar el riesgo de licuefacción en terrenos de arenas y arenas limosas bajo el nivel freático.**

"En este sentido, tenemos que tener en cuenta que toda la zona Sur del casco urbano de Lorca, se clasifica dentro de una zona geológica de Murcia tipo III y T1/T2 según CTE, con denominación: Aluvión-coluvial: Terrenos intermedios, muy variados y heterogéneos (arenas y gravas), según estratos de espesores y resistencia. iPudiendo aparecer rellenos con espesores igual o inferior a los 3 m.!"



Efectos de amplificación: Desplazamientos y amplificación del espectro de respuesta para terrenos blandos. Del tipo T1 y T1/T2 del CTE y del tipo Zona II2 y III de la Región de Murcia y al Sur, lo indicado en el párrafo anterior.

En resumen, tenemos que en el Norte del municipio de Lorca predomina el terreno tipo T1 o zona II1, denominado sustrato rocoso y en la zona Central o Sur del tipo T1 o zona II2. Denominado rocas blandas.

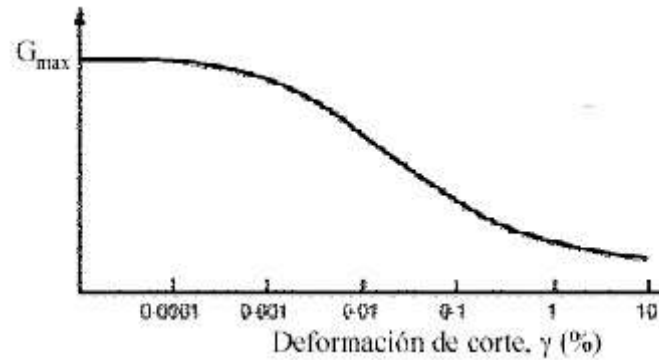


Ejemplo de: caso de extracto de lentejones de materiales de terreno sueltos sin cohesión, no saturadas, a escasa profundidad y de cierta potencia.

Terreno con arcillas muy blandas por disminución de la resistencia al corte por cargas cíclicas.

Fallos sísmicos: Subsistencia, asentamiento Local en vía pública

Intervenciones antisísmicas en Edificios dañados por sismo. El terremoto de Lorca del 11 de mayo de 2011.



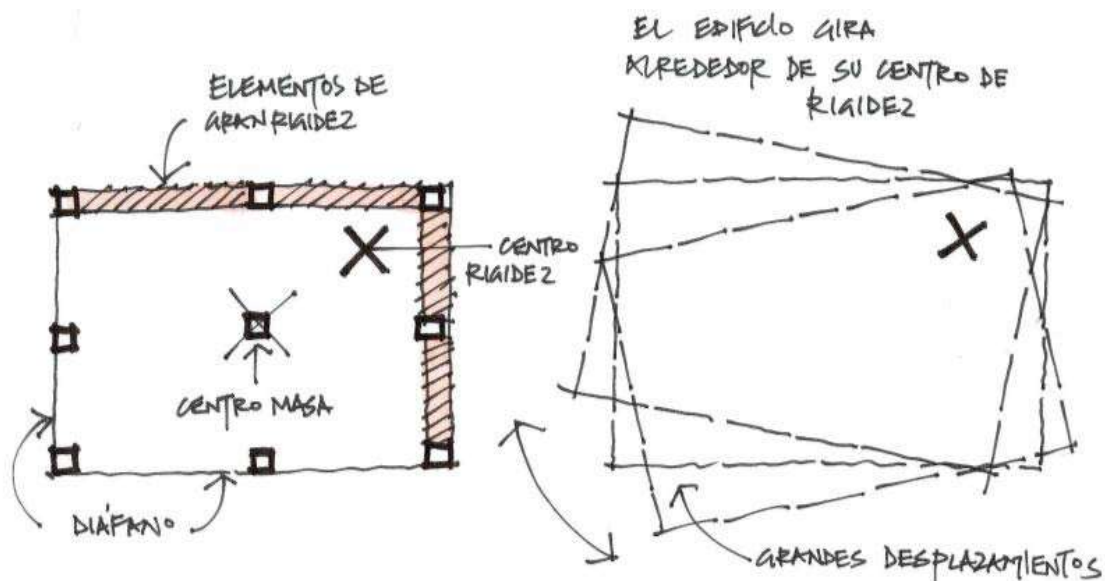
En la grafica superior se representa: La rigidez y amortiguamiento del terreno depende del estado que este ha tenido.

Cociente de aceleraciones, α	Factor de amortiguamiento	$V_s/V_{s\max}$	G/G_{\max}
0,10	0,03	0,9 ($\pm 0,07$)	0,8 ($\pm 0,10$)
0,20	0,06	0,7 ($\pm 0,15$)	0,5 ($\pm 0,20$)
0,30	0,10	0,6 ($\pm 0,15$)	0,35 ($\pm 0,20$)



En la foto, se observa descenso del pilar de esquina del edificio entre medianeras en Lorca. Descenso motivado por una sobrecarga del pilar y agotamiento del terreno base.

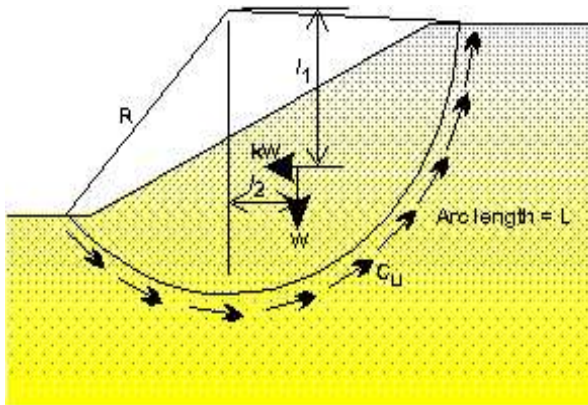
También ha influido el efecto torsión que le ha originado la rigidez de las medianerías, desviando el centro de masas y originando un centro de rigidez (torsiones) respecto a las fachadas en esquina.



Torsión motivada por el efecto rigidez de los muros medianeros de un edificio de esquina.

Intervenciones antisísmicas en Edificios dañados por sismo. El terremoto de Lorca del 11 de mayo de 2011.

En Lorca, también se han producido fallos sísmicos por inestabilidad de y desplazamiento de taludes.



En el grafico de la izquierda se representan las fuerzas de inercia horizontales en la masa del suelo.

Supresiones intersticiales.

Modificaciones de las propiedades del suelo.

1.3.2.- El terreno y las acciones sísmicas. Licuación del terreno.

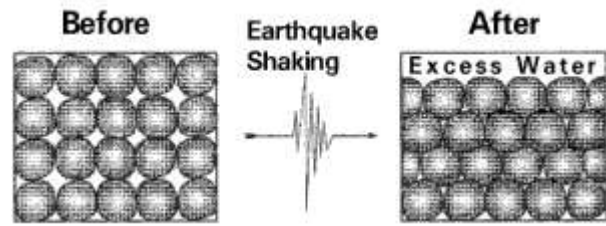
Si un movimiento sísmico origina sorpresas, no son menos las que pueden ocasionar algunos tipos de terrenos, como lo licuables (*aquellos que ante esfuerzos vibratorios pierden su resistencia al esfuerzo cortante*), que durante el terremoto se transforman en una especie de barro fluido que provoca el hundimiento de edificios, muros de embalses, carreteras, etc., debido a que se quedan sin base de apoyo.

La licuación puede suceder cuando la aceleración sísmica ocurre en un suelo arenoso-granular flojo, con el nivel freático alto, como pudieran ser terrenos de marismas, o terraplenados saturados de agua.

Las vibraciones también pueden producir asentamientos en rellenos suelos granulares flojos, arenas finas mal graduadas, arenas limosas y limos no plásticos. Más susceptibles con partículas redondeadas que anguladas. Se reduce el riesgo con la presencia importante de gravas.

Cuando el estudio geotécnico del terreno donde vamos a cimentar nos identifique que el perfil geológico del mismo contenga en sus primeros 20 m bajo la superficie del terreno, capas o lentejones de arenas sueltas situadas, total o parcialmente, bajo nivel freático, deberá analizarse la posibilidad de licuación. (NCSE-02, apartado 4.3.1).

Intervenciones antisísmicas en Edificios dañados por sismo. El terremoto de Lorca del 11 de mayo de 2011.



Efecto de la licuación del terreno por la presencia de agua y las vibraciones del sismo.

En la figura se representa el efecto: Hundimiento del suelo, asentamiento y vuelco del edificio por licuación del terreno.

Si se concluye que es probable que el terreno licue en el terremoto de cálculo, deberán evitarse proyectar cimentaciones superficiales, al menos que se adopten medidas de consolidación del terreno, (a base de inyecciones químicas: Productos resinas orgánicas, geles de sílice), método recomendable para arenas finas, para prevenir la licuación. Si lo que proyectamos son cimentaciones profundas, las puntas de los pilotes deberán (R_p = resistir por punta) llevarse hasta la suficiente profundidad bajo las capas licuables, (longitud 4 diámetros o como mínimo 6 metros), para que pueda garantizarse en esa parte la suficiente resistencia de seguridad al hundimiento. En estos casos habría que ignorar la resistencia por fuste del pilote (R_f = resistencia por fuste). (NCSE-02, apartado 4.3.3).

MEJORAS DE SUELOS SUSCEPTIBLES DE LICUACION



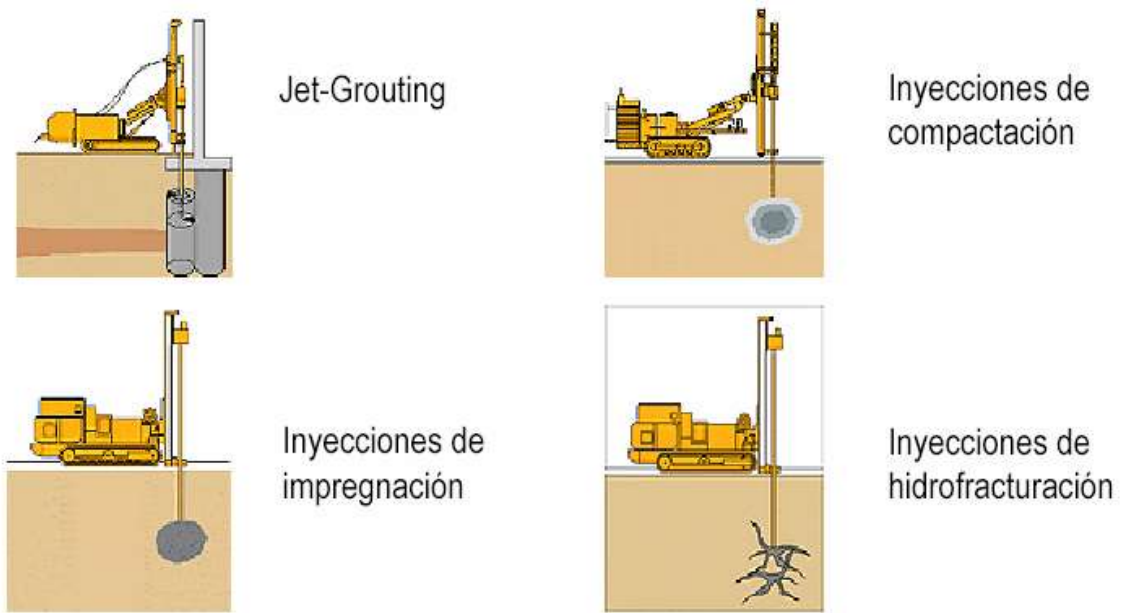
Compactación dinámica.



Vibroflotación.

Intervenciones antisísmicas en Edificios dañados por sismo. El terremoto de Lorca del 11 de mayo de 2011.

Mejora de suelos licuables: Inyecciones



- La estructura de una edificación puede entrar en resonancia o sincronismo cuando tiene la misma frecuencia que la del movimiento sísmico. En terreno licuable (aquellos que ante esfuerzos vibratorios pierden su resistencia al esfuerzo cortante), se puede producir una licuación y perder apoyo la cimentación provocando el hundimiento de la edificación. La licuación puede suceder cuando la aceleración sísmica ocurre en un suelo arenoso fino flojo, con nivel freático alto. Las vibraciones también pueden producir asentos en rellenos suelos granulares flojos. Las edificaciones sobre laderas están expuestas a deslizamientos.

En los apartados siguientes se señalan algunas sugerencias relativas a las técnicas de refuerzo; **con una observación:** las condiciones tipológicas originarias de los edificios son tan numerosas y diferenciadas que no se puede clasificar ni esquematizar las posibles intervenciones. Por lo tanto, los ejemplos que siguen representan tan solo algunas de las técnicas mas habituales encontradas en la biografía sobre **restauraciones estáticas en ingeniería sísmica** que, por otra parte, no se pueden adoptar sin consulta específica previa a expertos en la materia.

1.4.- Sugerencias para las intervenciones de rehabilitación en los edificios ruinosos.

Los edificios evaluados que presentan signos muy graves de ruina inminente, de magnitud tal que requieran la reconstrucción total de las estructuras de sustentación, el problema estático se resuelve sustituyendo y sobreponiendo a las estructuras un nuevo elemento estructural al que se sujeten las paredes y los demás elementos que deban ser conservados.

Este elemento estructural puede ser:

- De estructura vertical de mampostería y cimientos de conglomerado de hormigón en masa o armado.
- De estructura de hormigón armado.
- De estructura metálica.

La reparación deberá ser capaz de dotar a la estructura de una combinación adecuada de rigidez, resistencia y ductilidad que garantice su buen comportamiento en eventos futuros.

El primer sistema constructivo da lugar a soluciones molestas y costosas, con una flexibilidad distributiva escasa. Tan solo puede ser adoptado para edificios modestos de una o dos plantas. Son preferibles, sin dudas, las estructuras de hormigón armado o, mejor aún, las metálicas.

El acero puede ser empleado en sus diferentes formas como vigas, perfiles laminados en frío, tubos y pletinas, pero sobre todo se emplea en el tipo de alta resistencia, que reduce sensiblemente los obstáculos estructurales; de ello se reduce una contenida incidencia del peso con la reducción de las cargas de transporte y agitación y las ventajas directas en eventuales nuevas obras de cimentación. Al mismo tiempo, las dimensiones contenidas de los elementos estructurales permiten una fácil inserción de las obras de mampostería preexistentes sin necesidad de practicar aberturas amplias que podrían causar graves daños estáticos. Añádanse: la posibilidad de emplear elementos prefabricados en el taller y fácilmente adaptables en la obra, la relativa sencillez de todas las operaciones de realización; los tiempos reducidos de instalación; finalmente, la posibilidad de operar en presencia de las viejas estructuras para derribarlas después parcial o totalmente cuando las de acero sean estáticamente eficientes.

Las fases constructivas principales en una intervención se pueden resumir así:

1. Excavación, recalzado y cimentación de las columnas de acero.
2. Montaje de estas últimas en troncos, practicando para los correspondientes alojamientos ranuras rectangulares en forma de surco y agujeros en las soleras.
3. Colocación de las vigas principales y secundarias, así como de las estructuras contra el viento; estas últimas tienen una importancia determinante en las zonas sísmicas y pueden ser previstas en cantidad y disposición de modo que se pueda calibrar la rigidez de las nuevas estructuras sobre la de los elementos de mampostería que se deban preservar; en particular; puede ser oportuno disponer, a lo largo de las paredes perimetrales, a cota de las orientaciones, vigas reticulares contra el viento, de manera que permitan la transmisión de las fuerzas horizontales.

4. Anclaje de las obras de mampostería perimetrales a la estructura metálica: se puede realizar en correspondencia con las vigas y las orientaciones practicando una rotura en la mampostería y vertiendo en ella un micro-hormigón armado sobre el que se apoyará la viga; el relleno de la roza se realizará después con mortero en base de cemento de baja retracción.
5. Eventual demolición de las viejas estructuras internas de mampostería.
6. Construcción de nuevos pavimentos o soleras, preferiblemente con plancha surcada y capa de hormigón armado de acabado por encima.

El proyecto de reparación o reforzamiento incluirá las memorias de cálculo, documentación gráfica y detalles, procedimientos y sistemas constructivos a seguirse.

Técnicas de inspección y ensayos en obra- Evaluación post-sísmica

PROGRAMACION Y OBJETIVOS DE LOS TRABAJOS: CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES Y ELEMENTOS ESTRUCTURALES.

Cuadro 1 AUSCULTACIONES DE ASIENTOS Y CORRIMIENTOS

Programación y objetivos

- | | |
|---------|---|
| Efectos | <ul style="list-style-type: none"> - Asientos verticales. - Levantamientos. - Corrimientos horizontales - Empujes. |
| Causas | <ul style="list-style-type: none"> - Cavidades. - Falta de capacidad portante del suelo - Suelos expansivos. - Licuación del suelo. - Yesos u otros materiales expansivos - Efecto del agua. Roturas de conducciones enterradas - Efectos de presiones: inyecciones. - Excavaciones próximas. - Deslizamientos en ladera o talud. - Desplomes de muros. |

Inspección preliminar

- Topografía del entorno.
- Tipología de las lesiones en cerramientos.
- Identificación de tabiquerías.
- Daños en estructura.
- Desniveles de forjados y plomado de fachada.
- Catas de cimientos.

Periodicidad

- Diagnóstico.
 - Evaluación.
-

Cuadro 2

SEGUIMIENTO DE GRIETAS Y DEFORMACIONES

Programación y objetivos

Efectos	<ul style="list-style-type: none">- Grietas paralelas a la directriz.- Flechas y grietas normales a la directriz.- Grietas inclinadas.- Pérdida del recubrimiento.- Resistencia residual.- Otros: desconocimiento o incertidumbre
Causas	<ul style="list-style-type: none">- Compresión.- Flexión.- Tracción, efectos térmicos.- Cortante, torsión, anclaje.- Acciones imprevistas: viento, sismo, incendios, explosionesDescentramientos, efectos térmicos en cubiertas

Inspección preliminar

- Tipología de la estructura y geometría de elementos.
- Levantamiento de planos de fisuración y grietas.

Periodicidad

- Diagnóstico.
- Evaluación.

Cuadro 3

PRUEBAS EN SITU Y ENSAYOS DE LABORATORIO

Estructuras de hormigón armado

Métodos	<ul style="list-style-type: none">- Catas para determinar número y estado de las armaduras.- Ultrasónicos.- Extracción de testigos.- Sistemas END ETC.
---------	---

Estructuras de fábrica

Métodos	<ul style="list-style-type: none">- Extracción de muestras.- Sónicos.- Termografía, Flat-Jacks, etc.
---------	--

Cuadro 4

ANALISIS EXPERIMENTAL

Estructuras de hormigón armado y de Fábrica

Métodos	<ul style="list-style-type: none">- Pruebas de características dinámicas. Modal Testigo (identificación e integridad).- Monitorización e instrumentación (construcciones de gran valor patrimonial).
---------	---

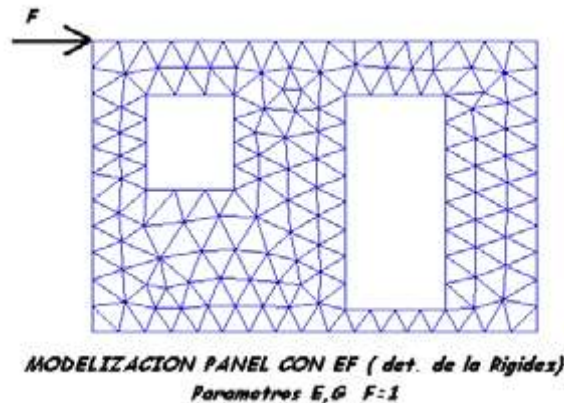
1.5.- Las intervenciones de refuerzo estructural: muros de fábrica, mampostería, arcos y bóvedas.

1.5.1. Mejora de la capacidad a fuerzas sísmicas. Estructuras de Fábricas.

Breves reflexiones sobre las construcciones de fábricas:

- Mayor vulnerabilidad a las acciones sísmicas.
- Mayor heterogeneidad de materiales en los sistemas estructurales.
- Mayor facilidad de degradación de las construcciones existentes.
- Escaso enlace entre muros y enlaces entre forjados.
- Escasa ductilidad de las fábricas no armadas (*mayores solicitaciones sísmicas, del orden de 3 – 4 veces que en hormigón armado*).
- En general, insuficiencia de rigidez en los forjados antiguos de madera y algunos metálicos.

Análisis de Muros de fábrica Aislados con huecos.



El análisis sísmico de las estructuras de fábricas plantea las siguientes dificultades:

- En la definición del modelo estructural.
- En la definición de las características mecánicas de los materiales.
- En la obtención de la respuesta.

Métodos de análisis global sísmico: general

- Métodos Generales y EF (*construcciones de Mayor identidad*).
- Métodos simplificados de análisis (*edificios de altura moderada en centros históricos*).

La intervención en estructuras de fábrica debe garantizarles resistencia a esfuerzos y deformaciones por sismo.

Dichas intervenciones pueden ser para:

a) La mejora de las prestaciones de las fábricas, tales como:

- Recomposición de las fábricas.
- Inyecciones en fábricas.
- Perforaciones y cosidos armados.

Intervenciones antisísmicas en Edificios dañados por sismo. El terremoto de Lorca del 11 de mayo de 2011.

b) La modificación del estado tensional del conjunto constructivo o estructural, tales como:

- Atirantamientos.
- Precompresión.
- Confinamiento y zunchado de nudos y enlaces.

c) La introducción de refuerzos y nuevos elementos estructurales, tales como:

- Refuerzos con elementos adosados de hormigón armado.
- Láminas adosadas a cerramientos de fábrica.
- Refuerzos con láminas del tipo composites.

En el caso de una leve o sencilla adecuación sísmica de estructuras resistentes, que no deban ser sustituidas, sino tan sólo rehabilitarlas y reforzarlas se hace necesario, a veces, insertar nuevos elementos estructurales ya sea en los cimientos o en sus elementos de elevación, y, en particular, preparar algunos elementos de arriostramiento contra el viento.

Seguidamente se describen breves informaciones sobre algunas técnicas de intervención recordando que los criterios de base a los que debe tender la restauración estática preventiva de edificios que puedan estar sometidas a acciones sísmicas comportan:

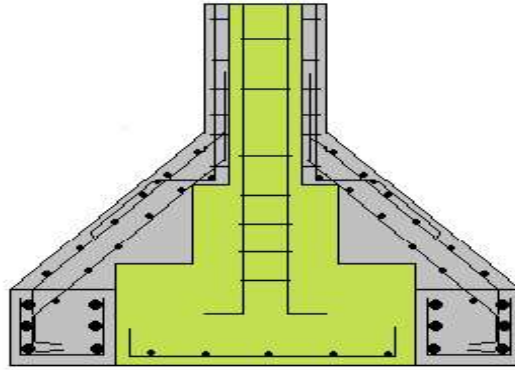
- bases de cimientos y soleras bien unidas a los cerramientos de mampostería.
- Paredes suficientes y bien trabadas y distribuidas.

1.5.1. Las cimentaciones.

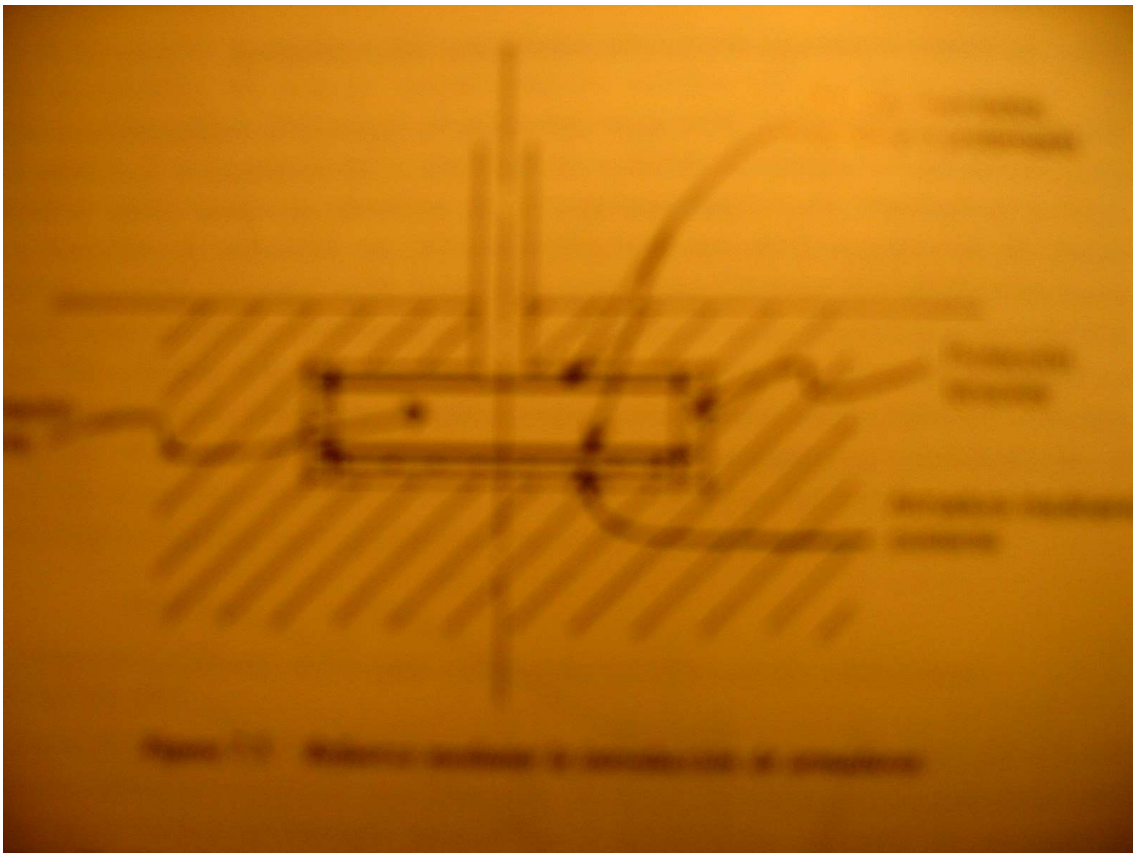
Otras de las cuestiones que debemos comprobar es el estado de consistencia de las cimentaciones en relación con la naturaleza del terreno, cuestión que nunca se toca cuando se habla de daños por sismo. Por lo tanto, las obras de refuerzo de las edificaciones tradicionales deberían tender a diseñar o recrear el tipo de cimentación que habría sido elegido como más idóneo si la construcción hubiese sido nueva.

En terrenos de escasa capacidad, con cimentaciones de zapatas separadas o aisladas, la mejor solución será la adopción de una correa o bloque rígido de mampostería que minimice los desplazamientos relativos en la base de los pilares. Si no se puede realizar debemos recurrir a un sistema de enlaces entre base de la base de los pilares.

Por el contrario, donde, como sucede en nuestros centros históricos, el terreno superficial sea suficientemente estable y los cimientos sean de tipo continuo, en estructuras de mampostería, con dimensiones un poco superiores a las de su muro de carga, podríamos obtener una mejora sustancial ampliando la cimentación existente mediante vigas de hormigón armado enlazadas por elementos metálicos pasantes.



SISTEMA DE REFUERZO CON HORMIGON ARMADO DE ZAPATA AISLADA.



REFUERZO MEDIANTE LA INTRODUCCIÓN DE ARMADURAS CIMENTACION DE ZAPATA.

Caso poco frecuente es el de la existencia de un hormigón de calidad suficiente en zapatas, pero con armado insuficiente por error de proyecto o de ejecución.

Esta solución es aplicable solamente cuando la lesión ha sido detectada con tiempo, es decir, antes de la rotura de la zapata (solo cuando aparecen las primeras pequeñas fisuras).

Si la zapata presenta clara rotura, la solución no sirve y habrá que ir al recalce o sustitución de la zapata, según lo indicado en la figura anterior.

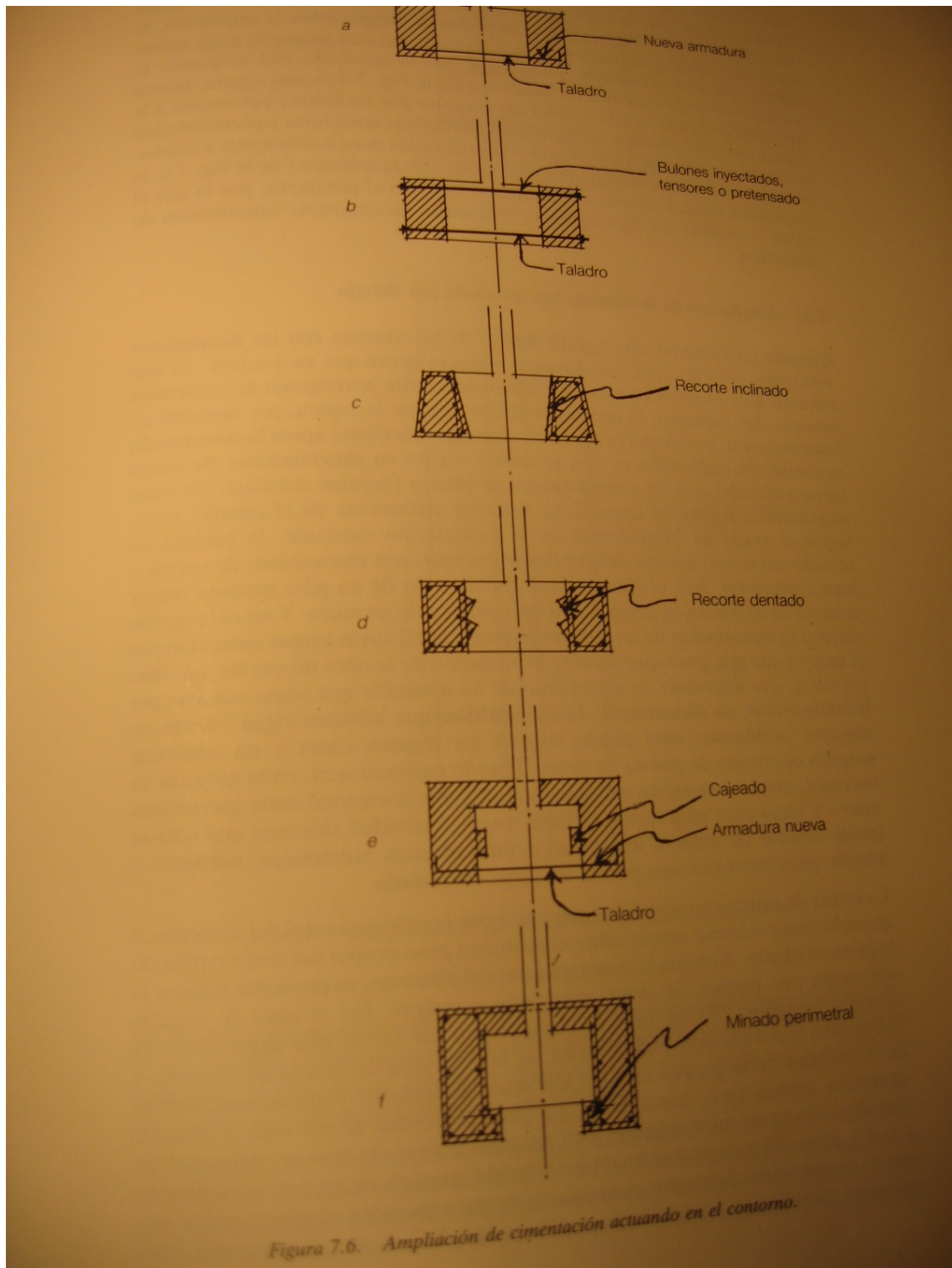
Sin embargo, cuando las cargas deban ser transmitidas a los estratos más profundos del terreno, será necesario recurrir a una sub-cimentación de pilotes, prefiriendo las técnicas más modernas se sub-cimentación indirecta y los micro-pilotes o "pilotes raíz", cuyo fuste esta realizado con inyecciones de mortero cemento. Para las estructuras gravemente desequilibradas, los mas indicados son

Intervenciones antisísmicas en Edificios dañados por sismo. El terremoto de Lorca del 11 de mayo de 2011.

los formados por armadura de barras y micro hormigón o mortero con un alto porcentaje de cemento, con los aditivos oportunos, inyectados a baja presión.

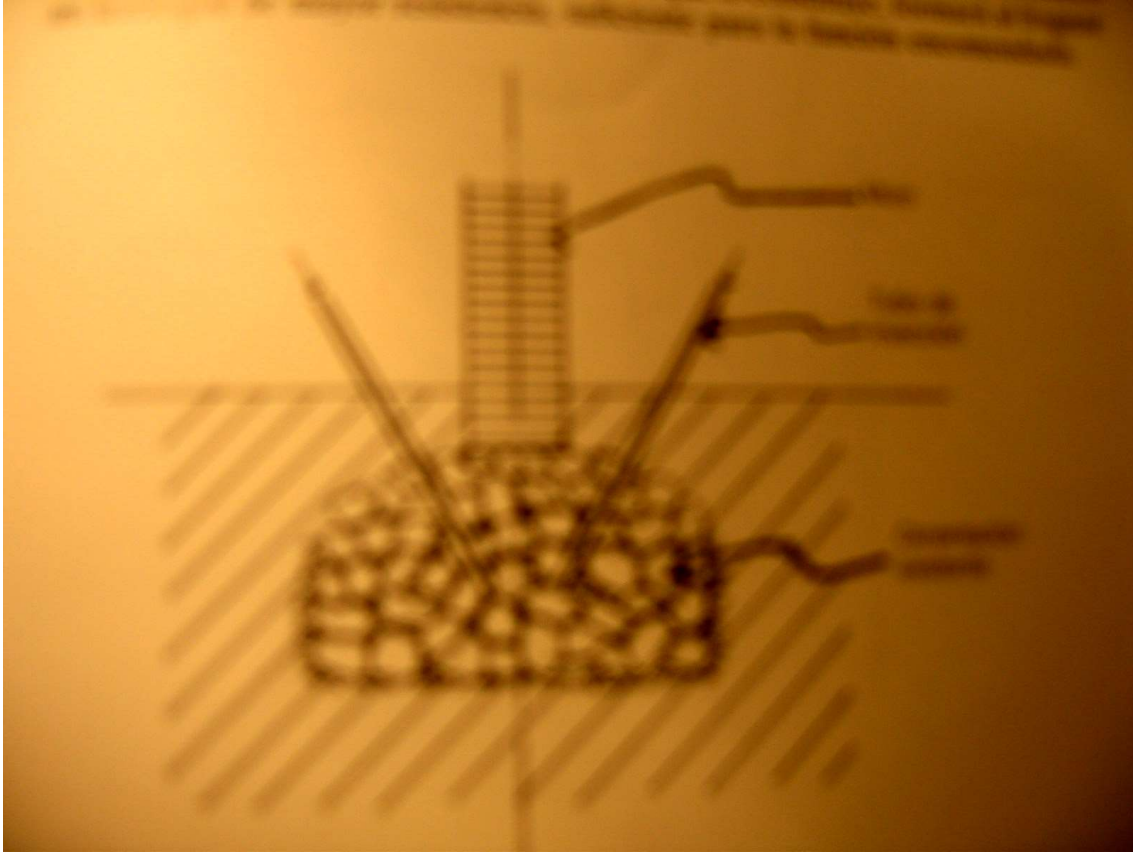
Los micropilotes con mortero inyectado a alta presión y con armadura tubular tan solo pueden ser empleados con especial destreza y precaución, pero cuando esta solución es posible se obtiene una mayor capacidad del soporte.

En cualquier caso, el mortero inyectado, además de constituir el fuste del pilote, permite a la vez una eficaz consolidación y cimentación del terreno que a consecuencia de ello queda fortalecido y homogenizado.

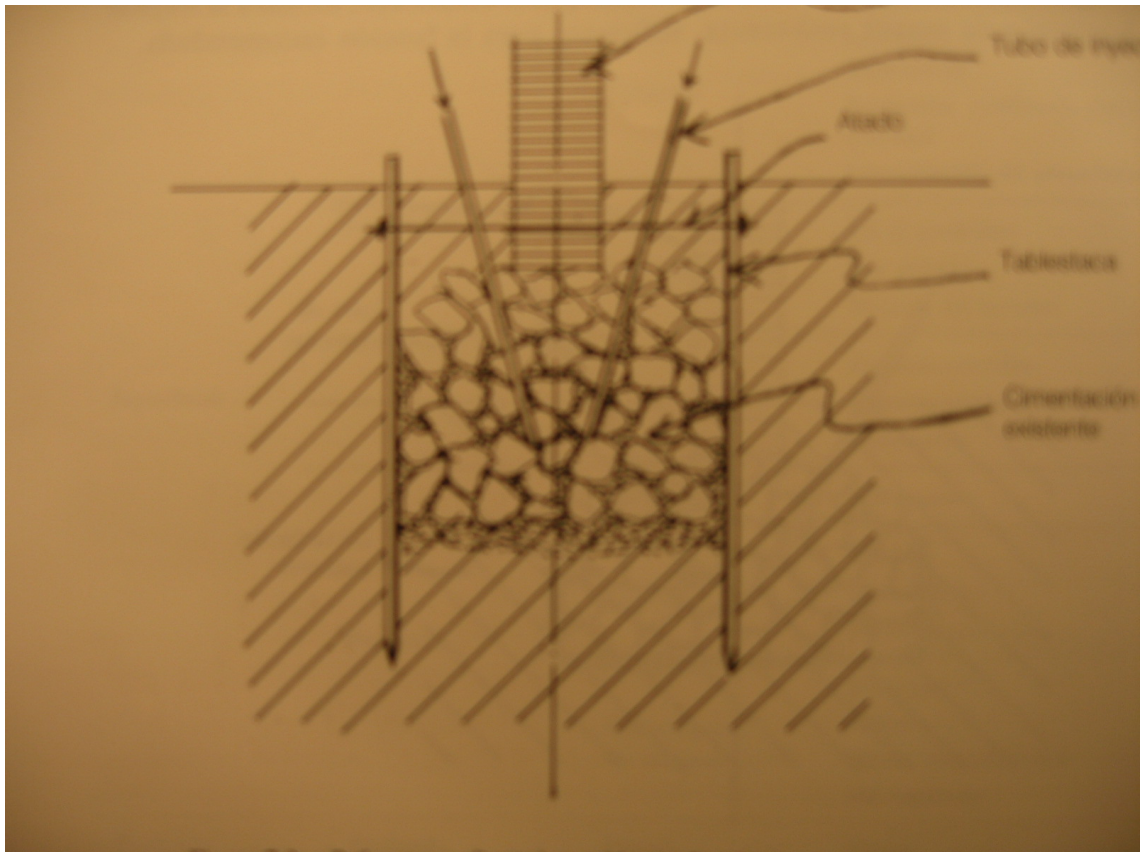


Intervenciones antisísmicas en Edificios dañados por sismo. El terremoto de Lorca del 11 de mayo de 2011.

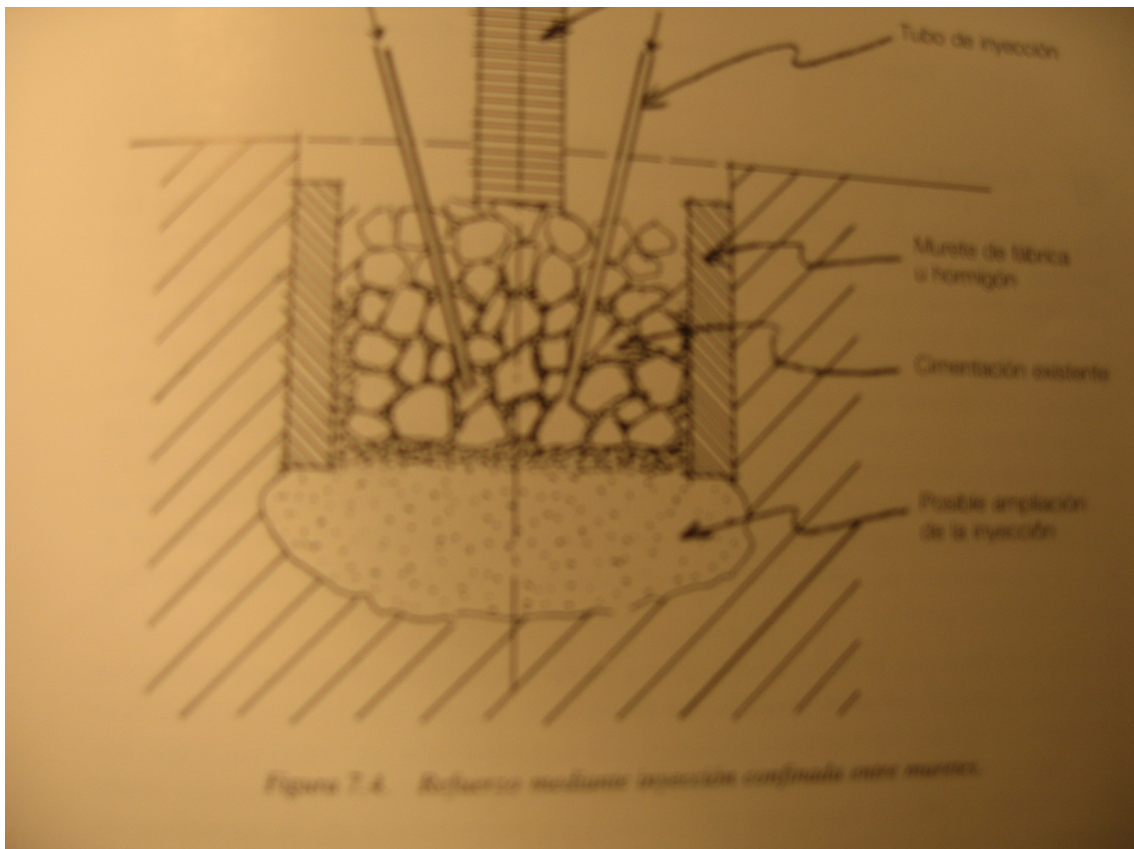
Recalce por Ampliación de la cimentación existente, actuando en el entorno.



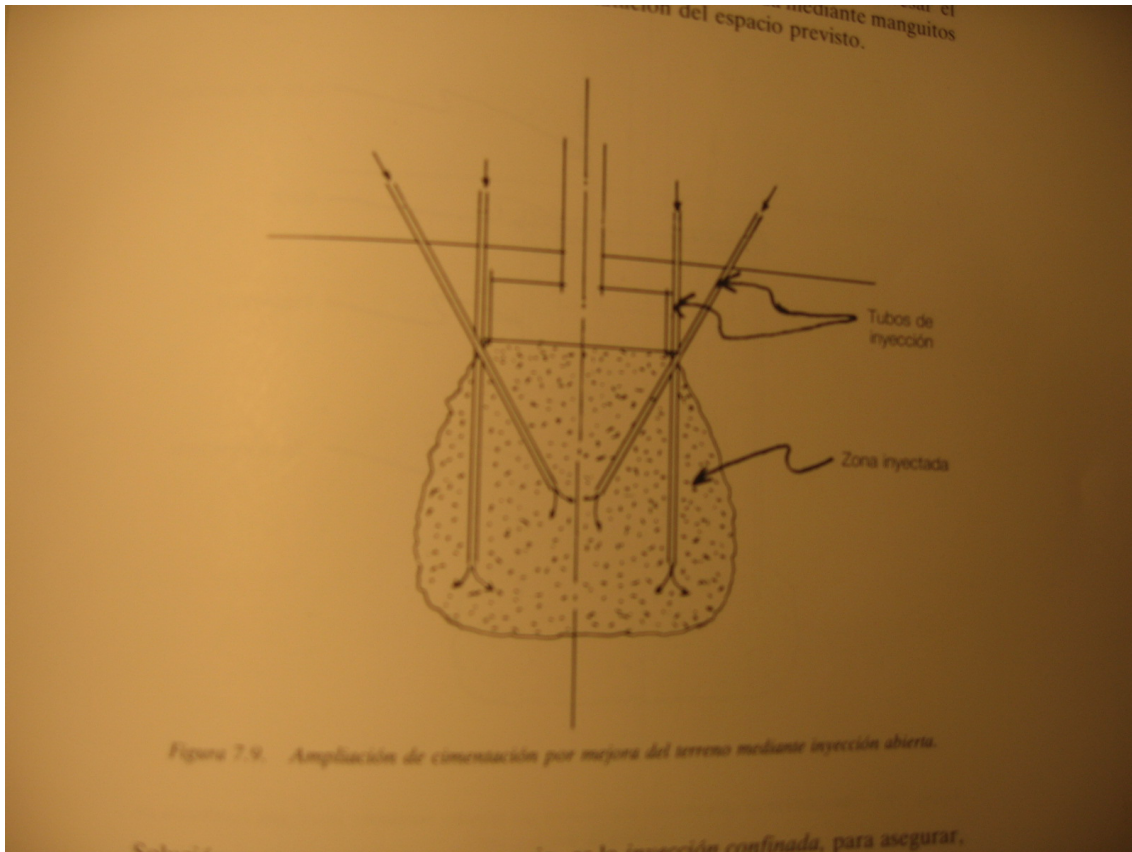
Refuerzo mediante inyección de lechada de cemento o mortero de cemento.



Refuerzo mediante inyección confinada en barrera de tablestacas.



Refuerzo mediante inyección confinada entre muretes.

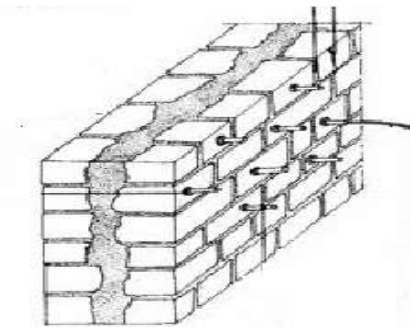


Refuerzo de zapata por mejora del terreno mediante inyección abierta.

1.5.2. Las mamposterías de soporte.

Es evidente, que antes de iniciar obras de consolidación de las mamposterías y de todas las estructuras de elevación en general, deben preceder a la ejecución de eventuales obras de sub-cimentación, contrariamente a lo que es habitual en la restauración tradicional. Este modo se interviene sobre las estructuras de las plantas inferiores, más cargadas, cuando las superiores ya están trabadas.

Las técnicas de refuerzo son numerosas y pueden abarcar desde las pequeñas obras de soporte hasta las reedificaciones parciales o totales; en todo caso cualquiera que sea la técnica elegida, la línea de acción que se debe seguir es la de impedir los eventuales desequilibrios de aplastamiento. Es decir, obstaculizar las dilataciones transversales endureciendo las mamposterías con inyecciones de resinas de base cemento y/o tirantes antiexpansivos.



Consolidación e intervenciones en estructuras de fábrica. Inyecciones.

Intervenciones antisísmicas en Edificios dañados por sismo. El terremoto de Lorca del 11 de mayo de 2011.

Después podemos intervenir con las técnicas habituales existentes en bibliografía sobre rehabilitación y adecuación antisísmica y, que, según la gravedad del caso, consiste en:

a) El anclaje con tirantes de acero.

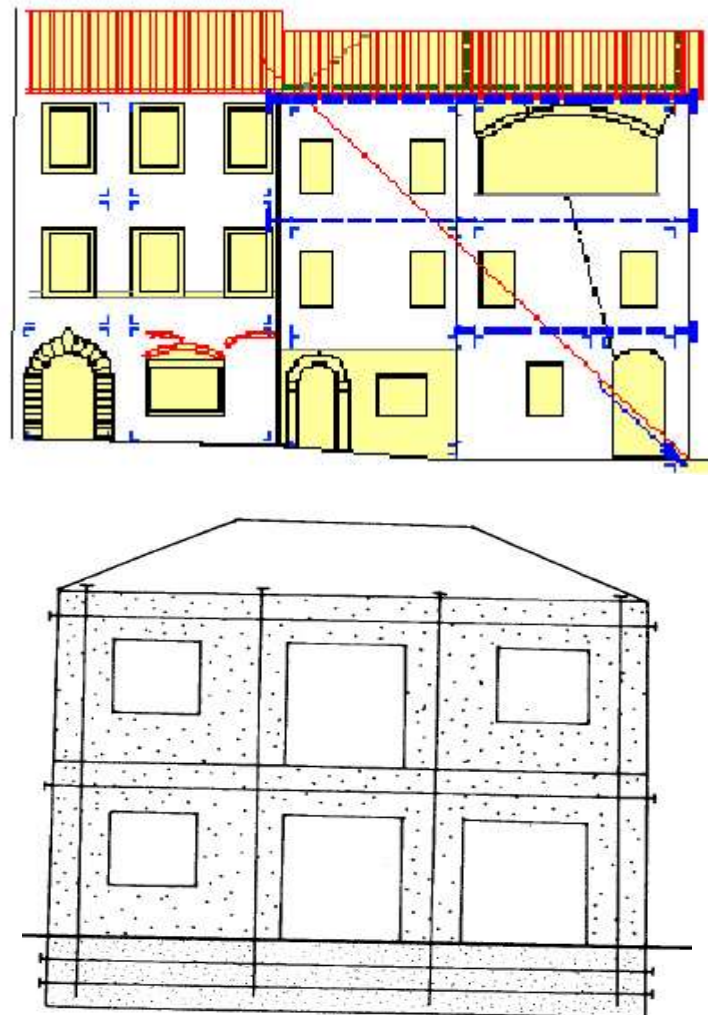
Los tirantes pueden ser realizados con barras post-tensadas de acero normal o con acero de alto límite elástico.

Para desarrollar eficazmente la función de enlace, deben ser aplicados según las siguientes modalidades:

- Estar colocados lo más cerca posible de las soleras, teniendo cuidado en limitar al máximo el espacio entre los tirantes que unen muros ortogonales entre ellos.
- Estar aplicados en ambas caras de los muros y en toda su longitud, y estar adheridos lo mas posible a dichos muros.

La inserción de las barras o de los cables se puede realizar dentro de vainas o en ranuras a lo largo de las mamposterías; los agujeros de paso se ejecutan con instrumentos de rotación y agua a presión.

Ejemplo gráfico de Consolidación e intervención sísmica en estructuras de fábrica. SISTEMA DE ATIRANTADO.

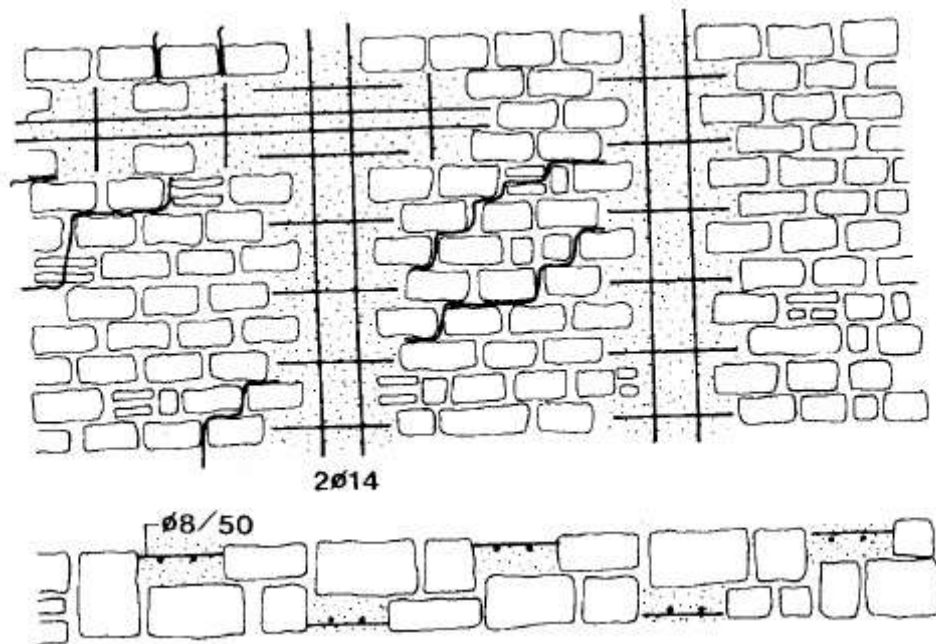


b) El enlace con bordaduras de hormigón armado.

Si las bordaduras se introducen sólo localmente y de forma desordenada, el remedio puede resultar perjudicial, antes que eficaz. De hecho, bajo la acción de fuerzas sísmicas, estos elementos esparcidos en las mamposterías con resistencia y rigidez considerablemente superiores, pueden producir una desunión local.

Sin embargo, su funcionamiento es decididamente eficaz cuando las bordaduras se han ejecutado conforme a un orden entre ellas y en relación con el tipo de mampostería, transformado el muro original en una verdadera y mampostería urdida, compacta y confinada.

Esta técnica de consolidación se puede aplicar fácilmente cuando sea posible modificar (incluso sustancialmente) el espacio original del edificio.



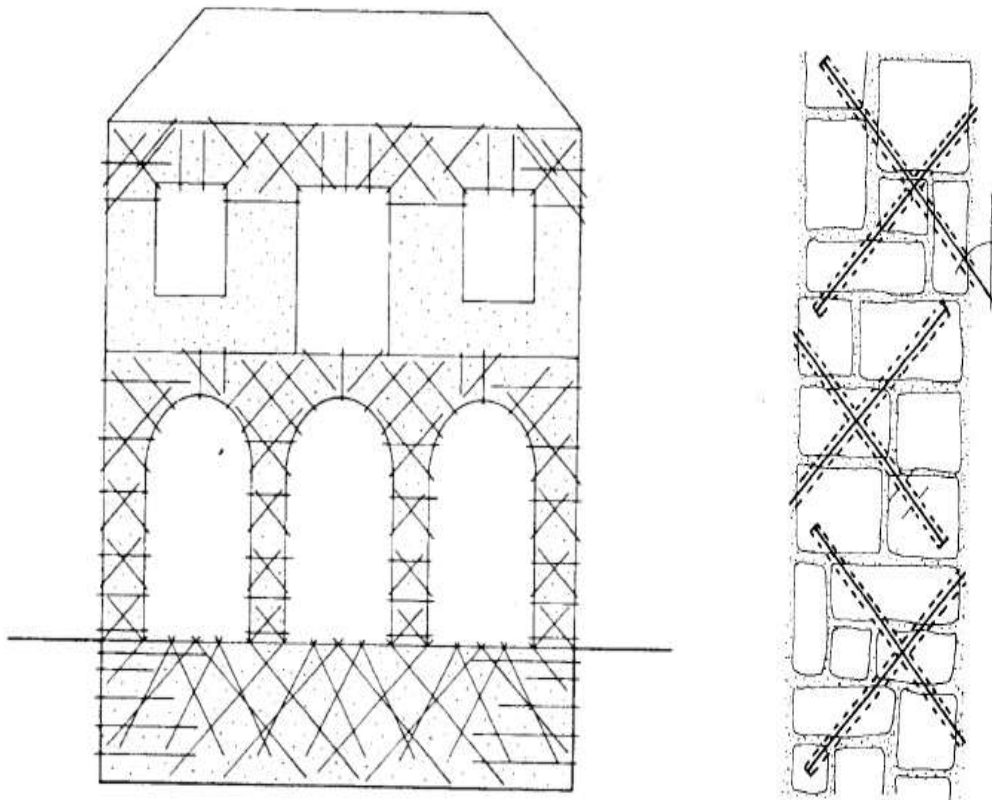
Actuaciones para mejorar el confinamiento de los muros y estructura de fábricas. Recuperación y mejoras locales de las fábricas.

c) La inserción de armaduras encoladas y selladas con mortero de reparación.

Es un sistema muy eficaz y que tiene también el mérito de no alterar ni la estática ni la estética original.

Se ejecutará insertando en la mampostería una retícula de barras metálicas dispuestas según las líneas de transmisión de los esfuerzos y selladas con mortero de reparación en base cemento.

Normalmente las barras tienen un diámetro comprendido entre los 10 mm y los 25 mm y se insertan en canales con diámetros comprendidos, respectivamente, entre los 30 mm y los 50 mm.



Cosido de perforaciones armadas y selladas con mortero de reparación.

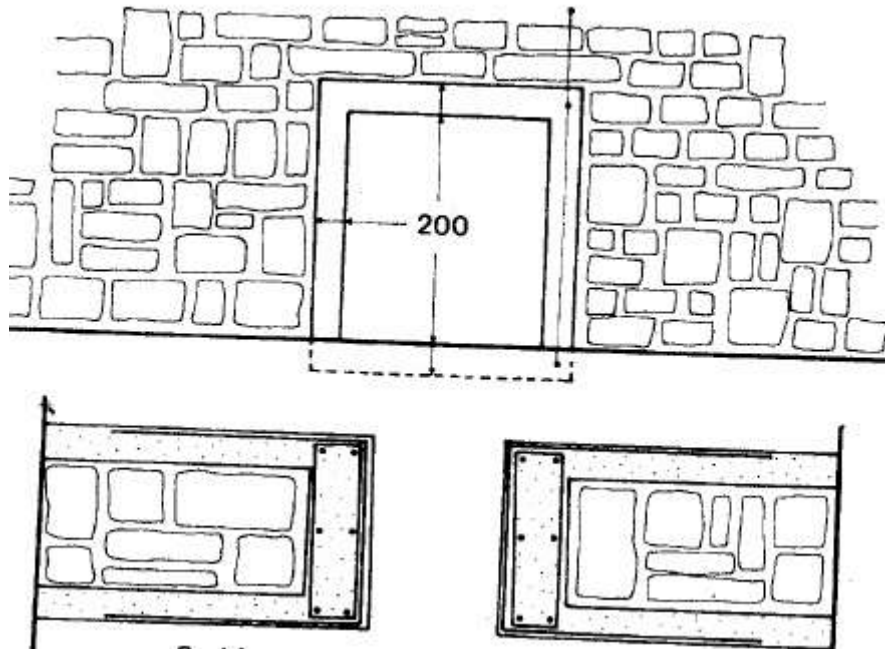
d) Las contras paredes de hormigón armado.

El procedimiento de ejecución consiste en fundir verdaderas paredes delgadas de hormigón armado (espesores de 5 a 8 cm. o más), realizadas por una o ambas partes de los muros de mamposterías que deben ser consolidadas. Estas paredes se arman con mallas electro soldadas (de 15 x 15 cm., y diámetros de 4 a 6 mm), unidas a la mampostería con remaches o mejor con bastoncillos pasantes. Con esta técnica, los resultados más satisfactorios se obtienen empleando, micro hormigones con cemento de baja retracción con lo que se pueden realizar planchas de espesores mínimos entorno a los 2,5 cm.

Es todavía mejor emplear un mortero compuesto de cemento y arena (denominado gunite) aplicado con un pulverizador de aire comprendido que ejercita una verdadera acción de martilleo sobre la superficie que se debe revestir y sobre el estrato de mortero ya aplicado, con el resultado de formar una plancha compacta, de alta resistencia y adherencia a la mampostería, sin soluciones de continuidad.

Si las mamposterías tienen aperturas (ventanas o puertas) será conveniente prepararle un bastidor con bordadura de hormigón armado. A veces, donde no subsisten cargas de fachada, puede ser aconsejable revisar también la posición de las aberturas, eliminando en primer lugar las que están demasiado próximas entre sí o a las esquinas de las construcciones y disponiendo su alineación vertical.

En el caso de aberturas demasiado altas, su continuidad horizontal se podrá obtener mediante zunchados o bordura continua de hormigón armado, enlazada a su vez con los pilares fijados en los ángulos.

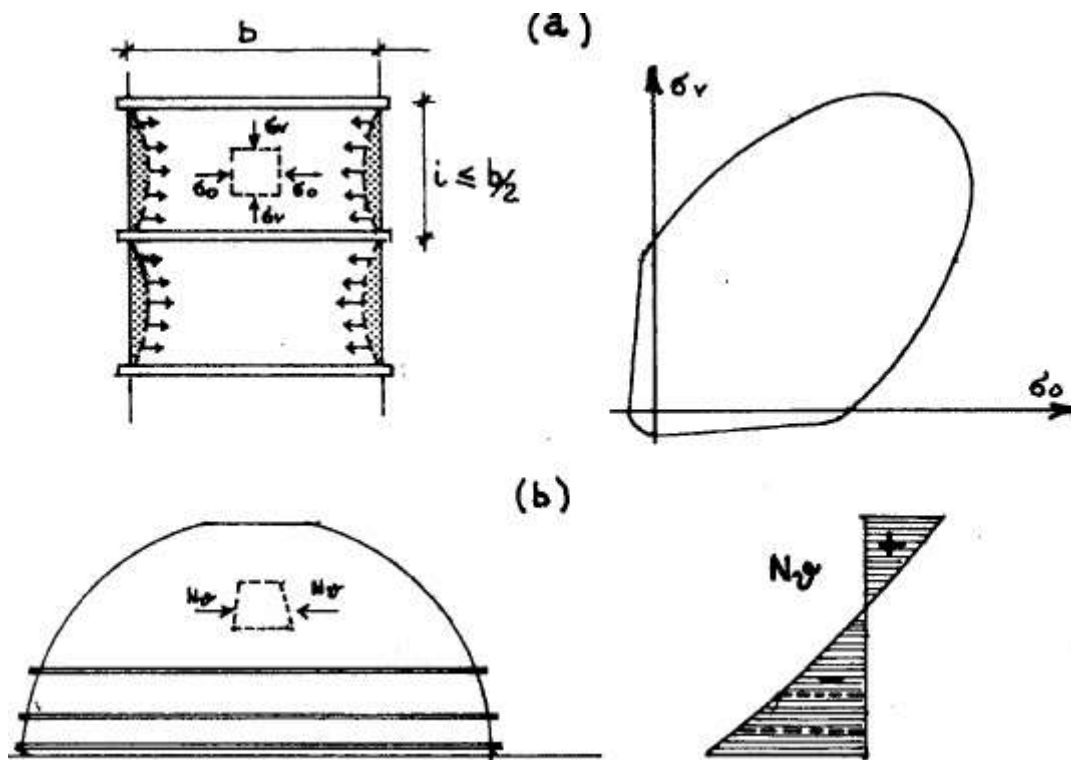


Inclusión de refuerzos locales. Dinteles y jambas de huecos

1.5.3. Los pilares de mampostería.

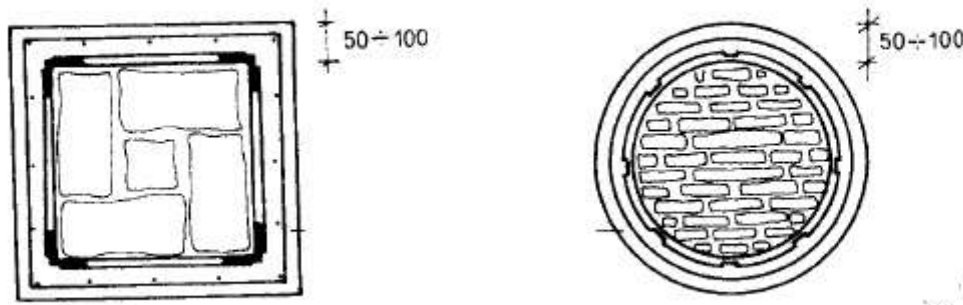
La consolidación de los pilares de mampostería se puede realizar con las mismas técnicas indicadas para los muros de mampostería.

Por ejemplo, inyecciones o encolados de cemento y perforaciones armadas o en recubrimiento de maya electro-soldada encolada con mortero de cemento, o mejor el revestimiento del pilar con hormigón armado de un espesor de 6 a 12 cm.



Consolidación e intervención sísmicas en estructuras de fábrica.

Intervenciones antisísmicas en Edificios dañados por sismo. El terremoto de Lorca del 11 de mayo de 2011.



Consolidación de pilares de mampostería con hormigón armado de un espesor de 6 a 12 cm.

1.5.4. Las soleras o forjados.

El refuerzo de las soleras y forjados con los correspondientes enlaces a los cerramientos constituye una parte importante en la adecuación antisísmica de la estructura. La falta de conexión entre los soportes de mampostería y la estructura (soleras y forjados) hace que dichos elementos se dañen.

De hecho, donde se transmiten importantes empujes horizontales, los requisitos que se deben cumplir, además de la resistencia adecuada a las cargas son:

- La rigidez transversal, en relación a dichas cargas, suficiente para asegurar la funcionalidad global en ejercicio del elemento estructural en examen.
- El enlace eficaz con las mamposterías verticales, a los efectos de transmisión de los esfuerzos.

1.5.4.1. Los forjados o soleras de madera.

La rigidez transversal puede ser mejorada sensiblemente clavando al entarimado existente un estrato de tablas ortogonales a las del entablado originario o bien, si las características de las estructuras lo permiten, ejecutando una capa de compresión de 5 cm., de hormigón, armada con una maya electro soldada ancladas a las vigas de madera principales.

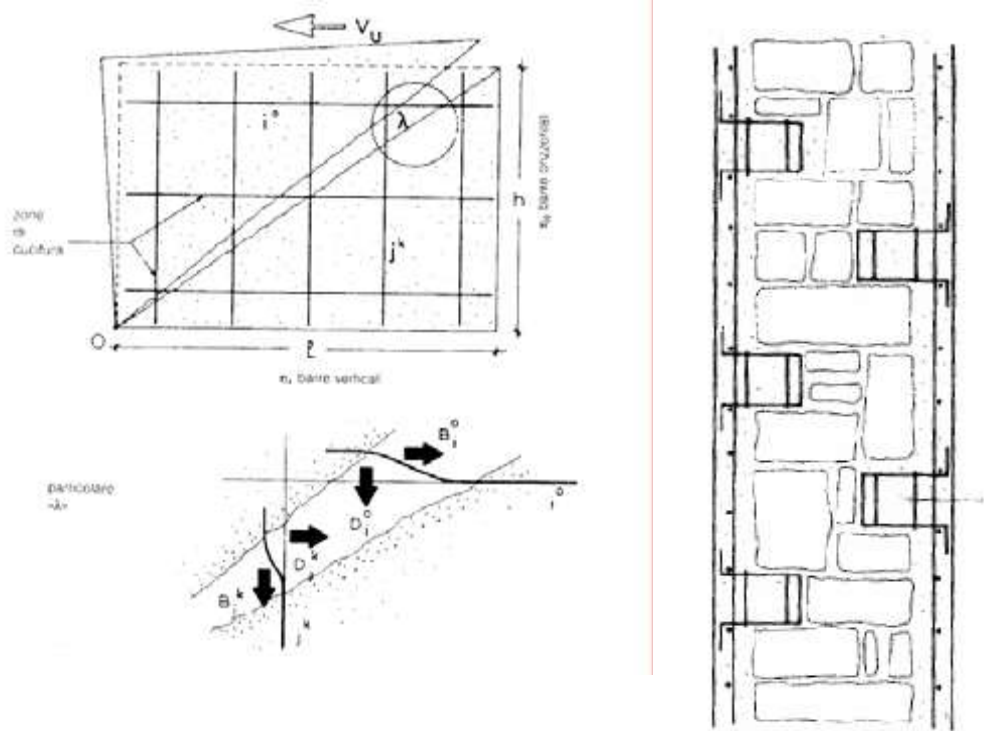
Para realizar el enlace necesario con las estructuras verticales, se debería ejecutar un cajado perimetralmente y con continuidad, y ejecutar un zuncho de hormigón armado al borde del forjado o bien, con un gasto menor y con simplificación constructiva notable, consolidar la mampostería correspondiente a la estructura de cubierta mediante la inyección de mezclas de ligazón o, todavía más eficazmente, con la utilización de armaduras metálicas. En este último caso, las perforaciones se pueden realizar transversalmente a las mamposterías en forma de cola de milano, y que llegue a la misma altura que el forjado.

1.5.4.2. Las soleras y forjados de rosca de ladrillo, yeso y cemento.

Para estas soleras o forjados, el enlace perimetral puede ser realizado satisfactoriamente con un zuncho continuo de hormigón armado de espesor parcial, integrado con cuñas de anclaje que pasan a través de la mampostería, oportunamente armadas.

1.5.5. Otros sistemas de consolidación e intervención sísmica en estructuras de fábrica.

- Adosado de láminas delgadas.
- Adosados o zunchados de hormigón armado.
- Revestimientos de morteros y redes de fibra ó barras de composites.



En la figura, ejemplo de **Adosado o contra paredes de muros de mampostería con hormigón armado**. Se observa que para garantizar un mejor confinamiento o zunchado del muro se han ejecutado unos cajeados en el muro formando unas correas de atado

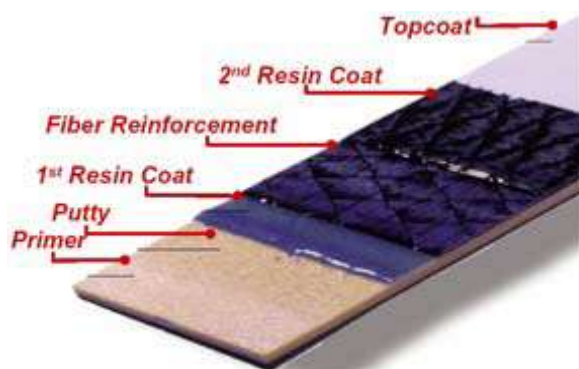
REFUERZOS MEDIANTE COMPOSITE



Refuerzos mediante composites.



Bandas de fibras de carbono aramídicas.



Detalle de producto comercial de láminas

1.5.6. Otros sistemas de consolidación e intervención sísmica en estructuras de fábrica. La necesidad de apertura de huecos en sus muros.

Esta es una operación que puede ser necesaria realizar de forma indirecta cuando tengamos que intervenir en edificaciones de tipo monumental. Es una operación que puede ser muy compleja y peligrosa, si no se han tomado las medidas preventivas convenientes, tales como:

- Exige precauciones especiales → medidas especiales de seguridad en edificación y sistema de apeos y apuntamientos alternativos.
- Evaluación previa, por que afecta a una parte de la estructura.

Proceso:

- Apeo/apuntamiento del muro en que se va abrir el hueco. Es importante acuar bien las vigas o dinteles sobre el apeo. Dormientes y sopandas.

- A veces hay que recalzar los bordes del hueco.

- Evaluar la resistencia del muro para ver si puede resistir las cargas del dintel, por lo contrario, hay que colocar refuerzos en las jambas. En general en muros de hormigón armado no suele ser preciso, pero conviene comprobarlo siempre.

- Ejecutar la apertura de roza en muro para alojamiento del tipo de dintel previsto (*perfil metálico, vigueta pretensada o de hormigón armado*). Según el siguiente proceso:

1º) Se coloca la vigueta interior, dejándola perfectamente retacada en sus apoyos.

2º) Se coloca la vigueta exterior, perfectamente retacada en sus apoyos.

3º) Se procede a demoler el muro para dejar el hueco. Empezando de arriba a bajo y desde el centro a la derecha e izquierda.

4º) Proceso de demolición del muro. Si el muro es de cualquier tipo fábrica o mampostería (*ladrillos, bloques o piedras*), se emplearán medios manuales. Si el muro es de hormigón armado, se empleará en su demolición: martillo neumático, disco de diamante o lanza de oxígeno.

Proceso del cálculo del dintel:

1. En función de la luz (L), definir la carga parabólica del arco de descarga.
2. Estimar la carga uniforme (q.m/l) de cualquier forjado, que actúe en la zona de influencia.
3. Estimar la carga uniforme parcial y puntual, en su caso, de cualquier viga o forjado que actúe en la zona de influencia.
4. Calcular su momento flector máximo (M_{fmax}).

1.5.7. Técnicas de reparación a emplear en lesiones por sismo en Fachadas de fábrica.

La reparación se define como el conjunto de actividades que es necesario realizar para que el elemento constructivo o edificio recupere su funcionalidad, dando respuesta a todas las exigencias de seguridad estructural, utilización y habitabilidad.

Los pasos que tenemos que seguir en la reparación son:

- Estudiar si las fisuras están vivas o estabilizadas. De nada serviría repararlas si la causa de la lesión sigue actuando, por ejemplo, movimientos post-sísmicos.
- Investigar la causa primera de la lesión, comprobar que ya no actúa o poner los medios para eliminarla.
- Reparar. En el caso de las lesiones que venimos tratando, esta reparación afectará a:

- Los síntomas, es decir a las fisuras y grietas que hayan aparecido en la Fachada.
- Las causas que siguen actuando. Habrá que eliminarlas o minimizarlas.
- Otros elementos constructivos dañados por la causa primera actuante.

Como venimos diciendo, en el caso de las lesiones que estamos viendo, no se debe empezar una reparación hasta no comprobar que las fisuras están estabilizadas, es decir que la causa 1ª de la lesión ya no actúa. Por lo tanto, lo primero que habrá que hacer es estabilizar la estructura. A modo esquemático se presentan las soluciones para ello (*ver apartado de cimentaciones de este documento*):

Actuaciones sobre la cimentación.

- Recalce superficial sobre el mismo plano.
- Recalce superficial profundizando en el plano de apoyo.
- Recalce con el empleo de micropilotes.
- Empleo de pilotes o pantallas.

Actuaciones de consolidación sobre el terreno.

- Inyecciones.
- Sistema Jet Grouting.

Actuaciones sobre forjados.

- Limitación de la deformación. Parteluces.
- Aumento de la sección.
- Aumento de armaduras.

Actuaciones sobre vigas y zunchos.

- Refuerzos a flexión con hormigón armado.
- Refuerzos a flexión con elementos de acero.
- Refuerzos a flexión con bandas de carbono.

Actuaciones en voladizos o vuelos.

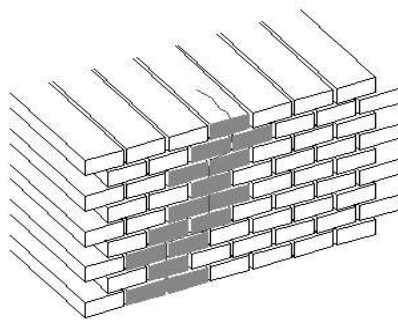
- Aumento de sección.
- Aumento de armaduras.

1.5.7.1 Técnicas de consolidación e intervención de grietas y fisuras en las estructuras de fábrica causadas por movimientos sísmicos. Cerramientos de Fachada.

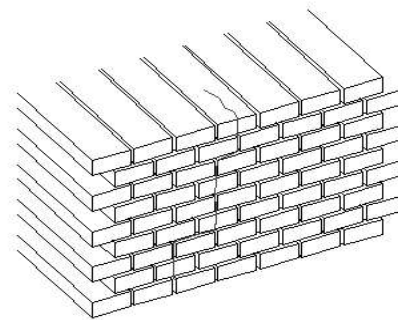
Una vez localizado y diagnosticado las lesiones, el último paso será la reparación de las fisuras y grietas. Ésta dependerá: del tipo de fachada (material constituyente, aparejo de fábrica, espesor, etc.), y del tipo de las fisuras y grietas: forma, profundidad, abertura, etc.

En principio, la mejor reparación sería la demolición y nueva construcción de la parte afectada, con las medidas de prevención adecuadas. Sin embargo, en la práctica las soluciones que se emplea son las siguientes:

- Cuando haya ladrillos rotos, éstos deben ser sustituidos. Para ello, se deben eliminar y sanear las piezas afectadas y las necesarias de su entorno para facilitar el trabajo, asegurando el enjarje a lo largo de toda la lesión para recuperar la integridad de la unidad constructiva. Naturalmente, los nuevos ladrillos tienen que ser iguales a los existentes, lo que a veces dificulta la operación, en el caso de ladrillo cara vista y en fábricas antiguas. La colocación de los nuevos ladrillos se debe hacer recibéndolos en toda su superficie con mortero igual al del resto de la fábrica (de cal o de cemento, según el caso) aunque conviene que tenga cierta plasticidad para que se acomode bien a las juntas y cierto componente expansivo, en algunos casos, para asegurar el relleno.
- Cuando no haya habido rotura de ladrillos y se trate simplemente de una reparación de las fisuras producidas entre éstos y el mortero, bastará con limitarse al relleno de las mismas. Para ello, se sanea la grieta hasta eliminar todo el resto de mortero antiguo. Entonces se procede a inyectar el nuevo mortero, con las características mencionadas en el párrafo anterior, tratando de que penetre en todo el espesor de la fábrica. Finalmente se retaca con mortero superficialmente.
- Cuando no se quiera restituir el aspecto original y no nos importe que la grieta quede manifiesta (por ejemplo, algunas restauraciones de edificios antiguos) podemos rellenar directamente. Para ello hay que limpiar lo mejor posible el interior y los labios de la grieta, lo que, en función de la dimensión de la misma, haremos manualmente o mediante aire a presión. Para la inyección del mortero deberemos utilizar uno muy fluido, con componente expansivo y adición de resinas epoxi para mejorar su adherencia a las paredes.



REPARACIÓN POR SUSTITUCIÓN
DE PIEZAS INDIVIDUALES



REPARACIÓN POR LIMPIEZA
Y SELLADO



En la figura, actuaciones para mejorar el confinamiento del cerramiento de fábricas. Recuperación y mejoras locales del cerramiento del hueco de ascensor. Colocación por la cara interior del cerramiento del hueco un mallazo de acero de forma que cose todo el cerramiento de fábrica de ladrillos cerámicos, aplicando posteriormente un mortero de cemento gunitado.

Si las fisuras y grietas se manifiestan hacia el interior de la fachada, en la hoja interior, la forma más sencilla, es trasdosar con una placa de cartón-yeso o yeso laminado de 13 mm de espesor, mediante un trasdosado directo o semi-directo. Esta solución es muy adecuada para absorber los movimientos sísmicos por ser más flexible e independiente de la estructura principal al no tramiten sus esfuerzos.

1.5.7.2 Técnicas de consolidación e intervención de movimientos de la estructura u otros elementos causados por movimientos sísmicos. Cerramientos de Fachada.

Si se puede, lo mejor es independizar la estructura del cerramiento antes que intentar reforzar la unión. Sin embargo, esto es más fácil de realizar como acción preventiva cuando estamos a nivel de proyecto o ejecución que como reparación de un daño ya producido, por ejemplo, por acciones sísmicas.

Esta independencia se consigue realizando una junta rellena de un material elástico, por ejemplo, una tira de 1 cm de poliestireno expandido. Para ello, se levantará el entorno al encuentro de estructura y cerramiento y se volverá a construir dejando la junta de poliestireno expandido y sellándola con un elastómero. De todas formas, hay que tener en cuenta que la fachada queda suelta y que habría que estabilizar, aunque permitiendo los movimientos. Por ejemplo:

- Comprobar que tiene el suficiente apoyo sobre el forjado
- Unir la hoja exterior a la hoja interior mediante llaves metálicas.

Intervenciones antisísmicas en Edificios dañados por sismo. El terremoto de Lorca del 11 de mayo de 2011.

- Introducir unos redondos de acero entre los tendeles de la fábrica y la estructura de forma discontinua

En aquellos casos en los que no sea viable realizar esta junta sellaremos las grietas que se hayan producido con un material elástico, aunque teniendo en cuenta que el aspecto estético será bastante deficiente.

1.5.7.3 Técnicas de consolidación e intervención por falta de estabilidad de la hoja exterior. Cerramientos de Fachada.

Cuando se produce la falta de estabilidad de la hoja exterior por insuficiencia de apoyo en el forjado, la reparación puede realizarse introduciendo un elemento metálico de apoyo, desde el exterior en el canto del forjado, para que reciba la carga del cerramiento. Esta solución es muy fácil a nivel preventivo pero más difícil a la hora de plantear una reparación.

Otra solución es demoler la hoja exterior y realizar una fachada trans-ventilada por delante de la antigua fachada, anclando la subestructura a los forjados y estructura. Es una solución eficaz, posible, pero de alto costo.



Detalle de colocación de elemento metálico en canto de forjado por falta de estabilidad de fábrica exterior de cerramiento de fachada. En edificio sanitario situado en Lorca.

1.5.7.4 Técnicas de consolidación e intervención por daños graves en cerramientos interiores principales, causados por movimientos sísmicos. Cerramientos de Caja de ascensor y escaleras.

Los daños observados en cajas de escaleras y ascensores, se han centrado en las plantas bajas o a nivel de calle y en las primeras plantas de los edificios, al ser en las que se han producido lesiones debido a mayores cargas de flexión/compresión.

En su mayoría se trata le lesiones graves por cortante en los cerramientos de los huecos de ascensor por desprendimientos, generalmente de ladrillo. Las puertas exteriores de los ascensores, en las plantas a nivel de calle, han sufrido deformaciones por cargas de compresión y flexión, como los que se observan en la **figura 44.**

Este tipo de patologías se presenta en el 80 % de las instalaciones existentes en la zona afectada por los movimientos sísmicos, y que, en función de la afectación de la estructura y cerramientos, las lesiones son de diversa gravedad, restablecer el servicio de los ascensores, en muchos casos, va a depender de las intervenciones en reparaciones *estructurales y no estructurales* que precise el edificio y el tipo de cerramiento.

Normalmente la solución de la intervención para resolver este tipo de patologías es demoler la hoja de cerramiento interior y realizar un nuevo cerramiento, anclando la subestructura a los forjados y estructura, introducir unos redondos de acero entre los tendeles de la fábrica y la estructura de forma discontinua. Es una solución eficaz, posible, pero de alto costo.



En estas figuras, se representa detalles de anclaje de cerramientos de caja de ascensor con elementos estructurales o entre ellos. Introduciendo una armadura en celosía de acero de calibre 6 mm entre los tendeles de fabrica de ladrillo que se anclan a los elementos estructurales. Esta armadura se coloca cada 5 o seis hileras o tendeles de ladrillo.



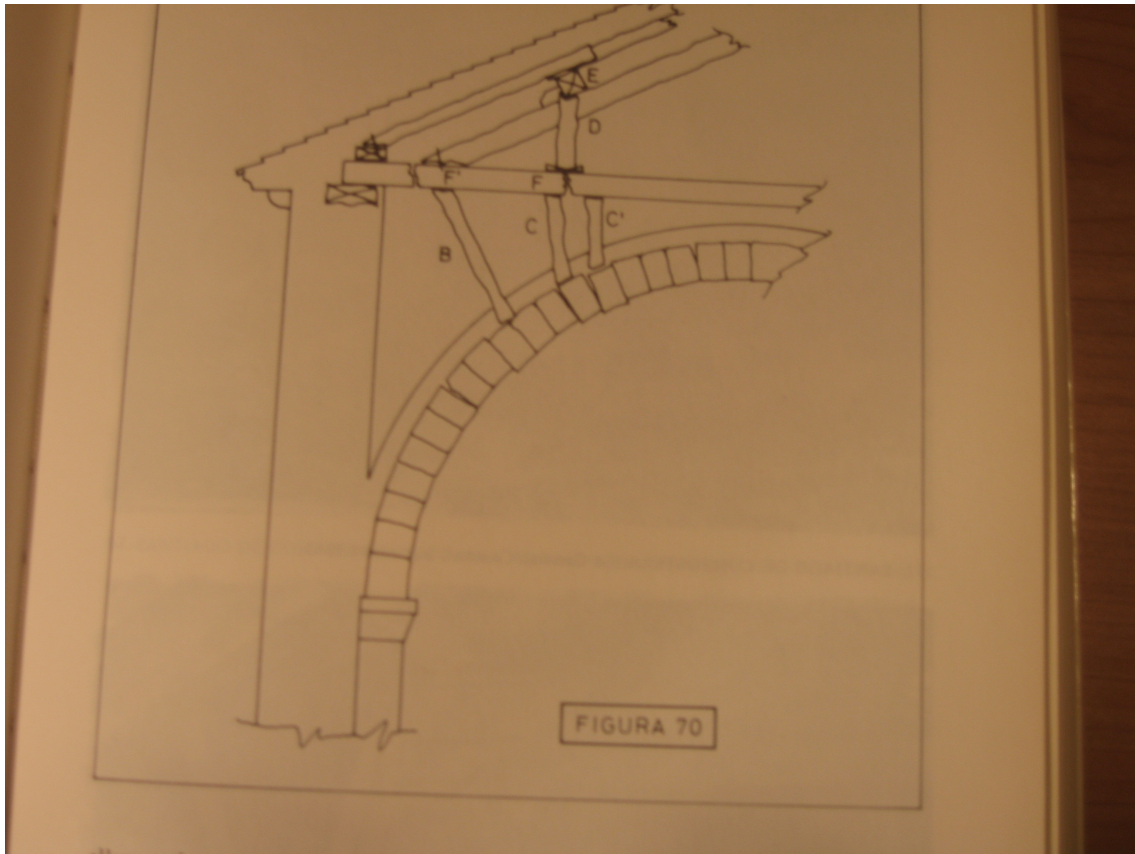
FIGURA 44.- Daños no estructurales. Lesiones graves en cerramiento de caja de ascensores en edificio de Lorca. Se observa puerta de ascensor deformada por cargas de compresión

1.6.- Intervenciones de refuerzo estructural: arcos y bóvedas.

Al estudiar las causas de lesiones en arcos y bóvedas, que estas fueron producidas, no solo por los movimientos sísmicos, sino por malas reparaciones a los fallos de las armaduras del entramado de madera que forman la cubrición de la cubierta.

Se tienen documentados, infinidad de casos donde se ven enanos de madera, o pequeñas pilastras de ladrillo, apuntando un tirante partido o una cabeza podrida, apretando sobre un arco o cargando en una bóveda, concentrando peso en puntos, para lo que no están preparados, como se ve el dibujo (**figura 70**). En otras ocasiones se encuentran apuntalando correas o pares.

También abundan las bóvedas sobre cargadas de escombros procedentes de retejado que durante años han ido realizando, acumulados como consecuencia de no dar importancia el abandonar sobre ellas, con el paso del tiempo, muchas toneladas de esos escombros.



Nuestra intervención, en la mayoría de los casos, será la de reponer uno a uno los elementos en mal estado, en los entramados de las cubiertas, o la sustitución total de ellas, así como descargar las bóvedas de esos escombros, pero con mucho cuidado al realizarlo, descargándolo por igual en los dos hombros.

Cuando intervengamos en las reparaciones debemos tener en cuenta, que los jabalcones, partiendo de las contracorreas, descansen en los machos y pilares de mampostería, con sumo cuidado.

Otras de las cuestiones que tenemos que analizar es que actualmente nos encontraremos en las cubiertas todo un maderamen que las componen y que se encuentran actualmente carcomido y podrido, con riesgos de hundimientos y de

Intervenciones antisísmicas en Edificios dañados por sismo. El terremoto de Lorca del 11 de mayo de 2011.

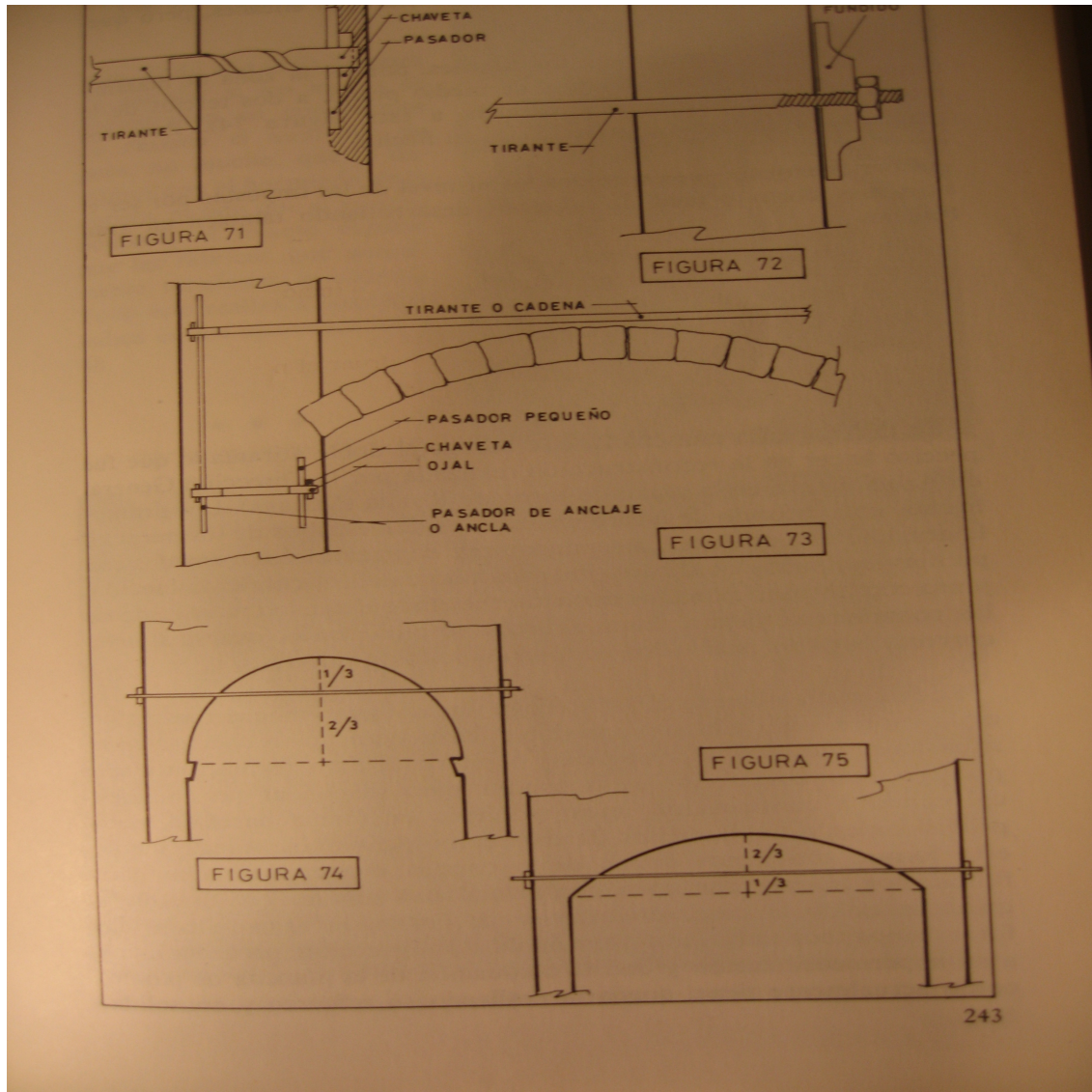
incendios por descargas eléctricas en días de tormentas o por cortacircuitos en las viejas instalaciones eléctricas.

Es muy habitual encontrarnos con la clásica rotura de una viga maestra de madera de gran sección, al no poder con la sobrecarga a que fue sometida, por corresponder al forjado de la cámara bajo cubierta destinada al almacenamiento de cosechas.

1.6.1. Atirantados en arcos y bóvedas: Técnicas de intervención.

Cuando las lesiones en arcos y bóvedas sean grietas que los/as parten por falta fallo en los apoyos, y hemos de tomar una medida urgente y económica, pensaremos en atirantar con barras metálicas, pero tenemos que tener en cuenta que esto debe ser una medida provisional que eliminaremos al disponer de medios económicos, haciendo desaparecer los tirantes después de corregidas las causas que ocasionaron su movimiento. Estas causas pudieron ser producidas por sobrecargar, con puntales, apeando a elementos partidos en cubiertas de madera, o por escombros acumulados, o por haber sido debilitados los contrafuertes al abrir en ellos huecos de paso. También los arcos y bóvedas se parten como consecuencia de lesiones en los arbotantes, originados por roturas en las canalizaciones del agua hacia las gárgolas o por asientos de muros o pilares.

La primera precaución a tomar es apear, por los procedimientos estudiados.



1.6.2. Refuerzo de arcos con hormigón armado: Técnicas de intervención.

No solo debe consistir nuestra intervención al hacer una restauración es sustituir los elementos malos y reponer las lesiones, sino también en mejorar lo que aún hoy se encuentra bien, conseguir alargar su duración.

Es lógico que reparemos un arco o bóveda partido, pero si sustituimos la cubierta de un edificio con bóvedas bajo ella, es el momento de reforzar éstas, en su caso, porque disponemos de medios técnicos y humanos mas avanzados.

Me refiero, en general, al refuerzo de los elementos dañados con hormigón armado.

Para reforzar un arco, como siempre, la primera operación a realizar será la de de un apeo. Si se encuentra en mal estado, con fisuras o dovelas movidas, el apeo debe ser completo. El mejor sistema es hacer un apeo pesado. Si su altura fuera grande, podemos apearlo con una cimbra de formado por tubos de acero, pues no se trata de construirlo, sino de sujetar y ayudarlo durante el tiempo que lo tengamos debilitado y con sobrecarga.

Una vez realizado el apeo y descargado los escombros, en su caso, limpiaremos por el trasdós sus dovelas, en el caso de que las bóvedas no pasen sobre ellas como ocurren con las de cañón, entre otras. Se limpiarán aquéllas y escarbando sus

Intervenciones antisísmicas en Edificios dañados por sismo. El terremoto de Lorca del 11 de mayo de 2011.

juntas podremos introducir varillas con doble garrota (figura 76), debiendo penetrar unos 10 o 12 cm., por lo menos, y sobresalir de 20 a 25 cm., y rellenando con mortero de cemento las juntas después de introducidas las varillas. Las varillas deberán cumplir una doble función, la de unir el arco al refuerzo de hormigón, y la de colgar este las dovelas que con el tiempo pueden ceder, es decir, la de confinar.

El refuerzo consiste en hacer un sobreaarco de hormigón armado, unido al primitivo y anclado a los muros en los mechinales, que previamente han de ser abiertos. La sección y armadura de este refuerzo se calcula de acuerdo a la luz del arco a reforzar.

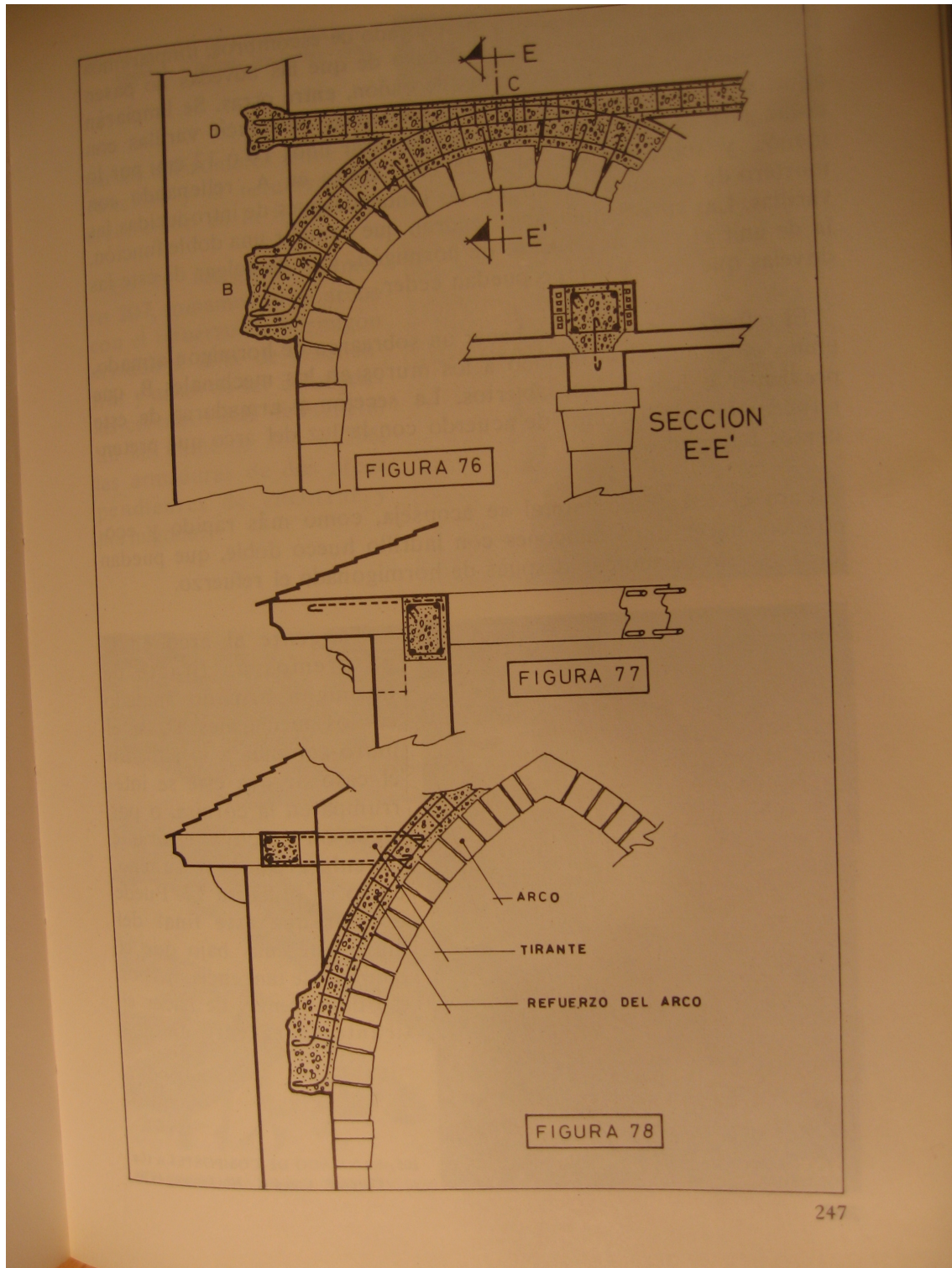
Para el encofrado lateral se aconseja, como más rápido y económico, hacer unos tabicones con ladrillo hueco doble, que pueden quedarse como encofrado perdido después de hormigonado el refuerzo.

Tangente al arco pasaremos un tirante de hormigón armado anclado a los mechinales si el muro continúa a lo alto. En el caso que este se interrumpa en la cornisa, o por algún otro motivo, el tirante lo enlazaremos al zuncho, como se ve en la (figura 77). Puede ocurrir que este final del muro este mas bajo que el punto de tangencia, no por eso desistiremos de hacer el tirante. Será éste en dos partes horizontales entre los zunchos y el refuerzo del arco en la (figura 78).

1.6.3. Refuerzo de bóvedas con hormigón armado: Técnicas de intervención.

Para el caso de reforzar una bóveda podemos adoptar diferentes soluciones, todas parecidas y con hormigón armado. De pende de su plementeria, si es de ladrillo, de piedra o simplemente tabicada.

En todos los casos estas han de ser apeadas, si se encuentran muy agrietadas, apuntaladas ligeramente, si su aspecto por el intrados es bueno, y sin apeo de ninguna clase, si son pequeñas y fuertes. Pero siempre es interesante algún recalzo como previsión de posibles movimientos o imprudencias durante el trabajo.



Si se trata de una bóveda de piedra (figura 79) con luces grandes, una vez descargado el escombro, lo que retiraremos paulatinamente de los dos hombros al mismo tiempo, se cepillará el intradós con cepillo de púas metálicas, descarnando las juntas de las piedras, clavando por estas juntas, y espaciadas de 40 a 50 cm., varillas con garrotas; finalmente, enlecharemos todo ello con mortero de cemento.

Limpio y preparado el trasdós de la bóveda y abiertos los mechinales, espaciados de 1,50 a 1,80 m., se extenderá un mallazo antes de hormigonar una capa de compresión de 8 a 12 cm., según los casos, con hormigón de HA-35 con aditivos de baja retracción, pues de ello depende la calidad de la plementería y la luz de la

Intervenciones antisísmicas en Edificios dañados por sismo. El terremoto de Lorca del 11 de mayo de 2011.

bóveda. Este hormigón se irá depositando y extendido sobre la bóveda por fajas o anillos de un metro, iniciándolos por los dos hombros al mismo tiempo, para que de esta forma se cargue por igual a los dos lados.

Si se trata de bóvedas de ladrillo o tabicadas, se realizarán los mismos pasos descritos anteriormente, únicamente se suprimirán las varillas de anclaje. Pero, por lo contrario, todo el refuerzo de estas bóvedas ha de realizarse suspendidos de un andamio cruzado, apoyado de muro a muro y casi tangente a la bóveda, tomando las máximas medidas de seguridad.

Todo trabajo realizado en arcos y bóvedas ha de ser ejecutado con meticulosidad por tratarse de las operaciones más delicadas en las reconstrucciones, tomando toda clase de precauciones, aunque parezcan excesivas.

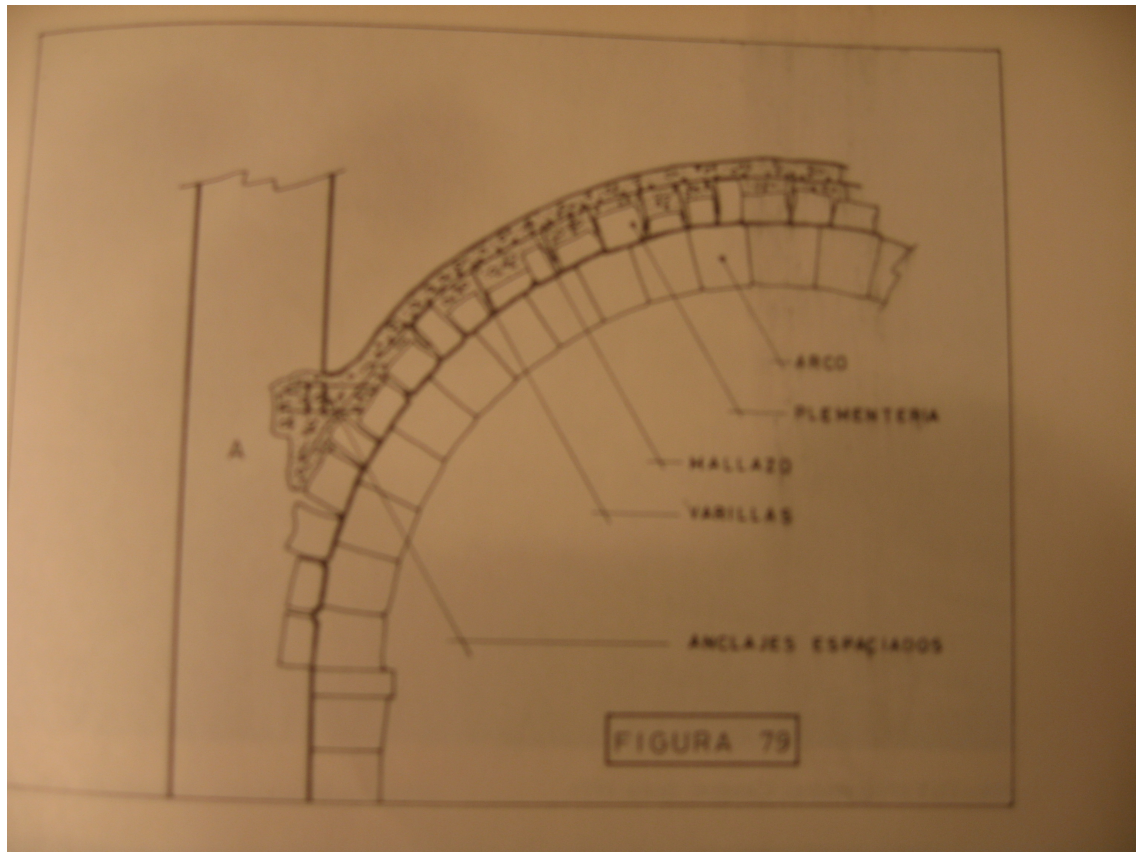


FIGURA 79.- Refuerzo de bóveda mediante el vertido de micro hormigones y compuestos de ligazón de poca retracción (8 a 12 cm.) y/o perforaciones armadas para bóvedas de piedra. Si son de ladrillo o tabicadas no se colocarán las varillas de anclaje.

Si se trata de bóvedas de ladrillo o tabicadas, las luces de las mismas no serán muy grandes, se realizarán los mismos pasos descritos anteriormente, únicamente se suprimirán las varillas de anclaje y se puede ejecutar como anexo una estructura de soporte constituida por una red metálica electrosoldada y por un extracto fino de mortero compuesto de cemento y arena aplicado como un gunitado (2 a 4 cm.), con cementos de baja retracción y de alta resistencia o compuesto de resinas adecuadas.

Los edificios monumentales de mampostería reparados o reforzados en los años 60 en Lorca utilizando hormigón armado no han tenido un comportamiento sísmico mejorado o adecuado previsto en su momento.

Por esta razón, se desaconseja el uso del hormigón armado normal, por su escasa adherencia a la bóveda, falta de confinación, su grosor elevado (superior a 12 cm.), y su fenómeno de alta retracción.

Por último, señalar que cuando este prevista la acción de las fuerzas sísmicas y sea sensible la alteración geométrica de la superficie del trasdos (por desplazamientos) se puede hacer necesario el transformar las bóvedas en sistemas cerrados que no empujen, tal como he indicado en los apartados anteriores (ejecutando, de la manera mas sencilla, añadiendo zunchados o encadenados donde falten), a los elementos resistentes donde apoyan (mechinales, contrafuertes, cornisas, etc.).

1.7.- Técnicas de intervención en estructuras leñosas. Las cubiertas de madera

1.7.1. Técnicas tradicionales.

Son técnicas de aplicación en pequeñas reparaciones o estructuras modestas. Las zonas mas afectadas suelen ser los cabezales de apoyo de vigas, cerchas de cubiertas, durmientes, faltos de ventilación, pero también los vanos, soportes, bases y entrevigado de forjado. Y todos ellos en zonas próximas a áreas húmedas (baños, cocinas, bajantes, terreno, roturas de cubierta, etc.) generalmente.

Las correcciones suelen ser:

- a) *Sustituciones parciales:* De un elemento estructural o parte del mismo con madera análoga a la existente.

Así eliminada la parte insana, se labra la sana en rayo de Júpiter y se le acopla la pieza de sustitución, con ensamble negativo del anterior. La unión queda asegurada por elementos metálicos.

b) *Refuerzos metálicos;* Se trata de conseguir recuperaciones modestas de flechas, refuerzo de secciones, adsorción de empujes, etc., podemos distinguir los siguientes refuerzos:

- Atirantados y peraltados (con acero en redondo o cable).
 - Refuerzo por embragado del trasdós y sofito (con chapas o perfiles).
 - Refuerzos de contra flecha (con tirafondos de pletina por canto y/o por tabla y bulón de anclaje).
 - Refuerzo contra empujes (con tirafondos de pletina por canto y/o por cable y bulón de anclaje y pletinas en ángulo de 30º en <<V>> o en <<X>> anclada).
 - Refuerzo contra cargas concentrada (doblando y contrapeando tableros de tarima para conseguir el efecto bolsa).
 - Recuperación de flecha por adición de refuerzo adaptado a la geometría de la viga deformada (jácena metálica conectada a la viga existente con deformación previa mecánica y ajuste por gatos hidráulicos).
- a) *Caso particular: Aislamiento por separadores:* Cuando el cabezal no está gravemente dañado puede mantenerse, pero para ello se procederá a ventilar la caja de alojamiento, y se aislará del apoyo y paramentos por medio de solera o soletilla impermeabilizante y separadores de madera, respectivamente.

1.7.2. Las cubiertas de madera.

Los problemas que se deben afrontar son de dos órdenes:

- El eventual saneamiento de la producción leñosa, el enlace entre elementos que la componen y entre éstos y su empotramiento o apoyo en las mamposterías.
- La consolidación de éstas últimas y su estabilización en relación con las fuerzas horizontales.

Para el segundo punto, me remito a lo dicho anteriormente en relación con las mamposterías. Para las técnicas de saneamiento de la parte insana de los elementos de la cubierta lo indicado en el apartado de intervención en estructuras leñosas.

1.7.3. Técnicas actuales de refuerzo en estructuras leñosas.

Para estructuras de reconocidos valores, intervienen siempre resinas sintéticas, consiguiendo tanto la recuperación como la posibilidad de aumento de cargas en la madera.

Los métodos para la recuperación de las estructuras de madera son:

- a) Consolidación.
- b) Prótesis.
- c) Forrados.
- d) Armados.

En todos ellos colaboran, en mayor o menor grado, las resinas sintéticas.

Resinas sintéticas en recuperación de estructuras de madera.

- Naturaleza. Generalmente son polímeros de gran adherencia y baja retracción.
- Cualidades que deben reunir:
 - Insensibilidad al agua.
 - Durabilidad e inalterabilidad.
 - Resistencia mecánica a todo tipo de cargas.
 - Resistencia a las temperaturas extremas.
 - Resistencia a las meteorizaciones (polución, oxidación, humedad, rayos ultravioletas).
- Condiciones para su correcta aplicación:
 - Tiempo de aplicación y fraguado, variable, acorde con las circunstancias ambientales.
 - Tolerancia de errores de las mezclas.
 - Posibilidad de admitir: Flexibilizadores para disminuir la viscosidad. Tixotrópicos para aumentar la viscosidad.

Pero como norma general deberán ser fluidos para facilitar la absorción, ya que la eficacia es función del grado de solidificación dentro del material.

- Tipos:
 - Poliéster (para reforzar las varillas de fibra de vidrio prensada).
 - Acrílicas (para sellados y consolidación por impregnación).
 - Furánicas.
 - Poliuretanos (para barnices y consolidación por impregnación).

Intervenciones antisísmicas en Edificios dañados por sismo. El terremoto de Lorca del 11 de mayo de 2011.

- Epoxi (en consolidación, por inyección, prótesis, forrados y armados. Mayor grado de rendimiento que las anteriores, pero son irreversibles y tóxicos).

Métodos para la recuperación de estructuras de madera.

a) Consolidación.

Aumento de la capacidad mecánica, conseguido por impregnación o inyección de resinas sintéticas.

Por impregnación. Vertido de resinas: Acrílicas (penetración y consolidación limitadas) o poliuretanos (penetración y consolidación muy elevadas).

Inyección.

- Por inyección, a baja presión, de resinas epoxi, con muy elevado poder de penetración y consolidación.
- Si existen grietas o fendas, calafatear previamente con mortero de epoxi y serrín o mortero de epoxi y arcilla (arcilla).

En ambos casos el acabado será por tratamiento químico e ignifugado y posterior barnizado.

b) Estucado. Reconstrucción de zonas o secciones perdidas.

- Estucado: Relleno de mortero de epoxi y arcilla. Dosificados conforme al modulo de elasticidad al de la madera a tratar.
- Beta: Relleno de mortero de epoxi y varillas de vitrorresina, de acuerdo con sus condiciones de trabajo, serán dimensionadas en base a cálculo estático.

Proceso de aplicación de un sistema Beta:

- Apeo y apertura, en su caso, cajas.
- Análisis e eliminación de madera insana.
- Taladro e inserción de varillas para armado y conexión
- Encofrado perdido o no, y vertido de mortero.
- Relleno de holguras con lechada epoxi y estucado.
- Tratamiento químico e ignifugo, y barnizado.

c) Forrados.

Incremento de la resistencia a compresión por zunchado a base de:

- Pletina helicoidal clavada y encolada con epoxi.
- Fajado de tejido de fibra de vidrio impregnada en epoxi, en uno o varios estratos contrapeados.

d) Armado.

Incremento o resistencia a flexión por inserción de barras o chapas de acero o varillas de Vitro resinas.

- Inserción de barras de acero y lechada fluida de epoxi.
- Embutido de chapas y lechada fluida de epoxi (mallas simples o dobles).

Al final como el sistema Beta se estuca bocas, se da tratamiento químico e ignífugo y se barniza.

El uso de resinas sintéticas es de alto rendimiento hasta la fecha, impredecible en el futuro, sin embargo, no es la panacea.

Los errores de propuesta y de ejecución (establecimiento de especificaciones, formulación, dosificación y control) pueden conducir, y de hecho ya ha sucedido, a fracasos estrepitosos.

1.8.- Refuerzo de Estructuras de Hormigón Armado.

1.8.1. Estudios previos. Inspecciones de estructura.

El primer paso consistiría en analizar las causas de las lesiones a través del estudio de diagnostico de las patologías.

En caso, de estructuras de hormigón, dicho análisis debería contribuir a estimar la resistencia residual de la estructura, factor imprescindible para tomar decisiones, respecto no solo a la decisión de intervenir, sino también a la urgencia con que ha de hacerse.

El diagnostico de las patologías e identificación de los síntomas debe extenderse a la cuantificación métrica de las lesiones, y no solo a las fisuras y grietas, sino de la geometría del conjunto:

- Desplomes, cambios de ángulos, fallos de nivelación, flechas, geometría básica de la estructura: pilares, vigas, zunchos y forjados.

También es necesario conocer las características del hormigón, en particular las mecánicas, mediante ensayos destructivos (extracción y ensayo de probetas) o combinados con los no destructivos (técnicas de ultrasonido, esclerómetro). Nunca deben emplearse sólo los no destructivos. El acero también debe ser ensayado, al menos para conocer su límite elástico.

A fin de completar la información, en función de las circunstancias puede ser conveniente hacer análisis químico de los materiales y medir potenciales eléctricos.

Si es posible, debe analizarse la documentación que existe sobre el edificio. La resistencia residual puede estimarse de varias maneras. Los métodos analíticos suponen la aplicación de los procedimientos de cálculo usuales aplicados a la estructura, habiendo introducido las variaciones (dimensiones, resistentes, de carga, etc.) producidas por la patología.

Las pruebas de carga se emplean cuando no sean posibles los métodos analíticos o estos no sean significativos, pero sólo sobre elementos sometidos básicamente a flexión.

Por último, los métodos empíricos se emplearían en caso de que no sean posibles o recomendables los anteriores.

En resumen, a partir de toda la documentación disponible se establecen estos cinco escalones de actuación dirigidos a la solución del problema:

- **Inspección del edificio y registro de geometrías de signos de deterioro.**
- **PRE-diagnóstico.**

Intervenciones antisísmicas en Edificios dañados por sismo. El terremoto de Lorca del 11 de mayo de 2011.

- **Investigación del estado de los elementos objeto de estudio.**
- **Análisis e interpretación de resultados.**
- **Establecimiento de los métodos de reparación o refuerzo más adecuado, en su caso, o demolición.**

Métodos de diagnósticos. Inspecciones de estructura.

Probetas testigo y micro probetas. Es un método directo y exacto para obtener la resistencia del hormigón.

Esclerómetro Schmit. Es un método directo, pero bastante inexacto. No debe usarse en hormigones carbonatados.

Ultrasonidos. Aparte de la determinación de la resistencia del hormigón, el ultrasonido se utiliza también para detectar discontinuidades internas (y aquí si es un método directo y muy útil) tanto en la calidad de los materiales como en el caso de grietas, fisuras y coqueras.

Pruebas de carga. Es un método de ensayo directo en el que deben tomarse las medidas de seguridad necesarias para evitar las roturas de los elementos que se pretenden ensayar.

La normativa vigente existente para realizar **el Estudio y Diagnostico de edificios es la UNE 41085 de la 1 a la 14. Y para la Intervención, Reparación y Refuerzo es lo indicado en el CTE – Anejo D.**

1.8.2. Protecciones, Reparaciones y Refuerzos de Estructuras de hormigón armado.

Si se considerase oportuno proceder a la reparación de la estructura puede recurrirse a dos tipos de métodos generales, según la importancia del daño:

- Reparaciones propiamente tales como fisuras y oquedades.
- Sustitución de la o las piezas dañadas o
- parte sustancial de ella o ellas

1.8.2.1. Procedimientos de reparación. Relleno y sellado de las fisuras y grietas por inyección con resinas epoxi o material elástico.

La norma UNE-EN 1504 del 1 al 10, trata sobre los Productos y sistemas de protección y reparación de estructuras de hormigón.

Este método solo lo debemos emplear cuando se tenga la seguridad que otras actuaciones previas han conseguido estabilizar la fisura o grieta y, en general, cuando sea posible trabajar sobre la fisura seca.

El objetivo del relleno es pretender únicamente la recuperación de la impermeabilización del hormigón, o también la recuperación de la continuidad mecánica para el trabajo a tracción, flexo tracción, cortante o compresión.

En general, consta de un producto reactivo (la resina) y un endurecedor. En ocasiones se utiliza un tercer producto, el diluyente, que tiene por objeto rebajar la viscosidad de la resina y que puede reaccionar o no con ésta.

También puede incorporarse una carga, compuesta por materiales finos e inertes, que modifican alguna de las propiedades de la resina.

Intervenciones antisísmicas en Edificios dañados por sismo. El terremoto de Lorca del 11 de mayo de 2011.

Propiedades de las resinas, muy variables:

- Según la longitud de las cadenas (variando las proporciones de epiclorhidrina y bisfenol), resultan resinas fluidas y viscosas.
- En general forman retículas tridimensionales muy rígidas. Según el tipo de endurecedor pueden conseguirse elastómeros.
- Según la actividad del endurecedor:
 - Distintos tiempos de reacción.
 - Distintas temperaturas de actuación.
 - Propiedades especiales.

Como criterio general, la elección de una formulación epoxi debe consultarse con personal especializado.

Propiedades generales de las resinas epoxi

Resistencia a tracción (N/mm ²)	30 a 90
Resistencia a compresión (N/mm ²)	120 a 210
Viscosidad (centipoises a 25°C)	100 a 15.000
Módulo de elasticidad (N/mm ²)	1.500 a 30.000
Alargamiento en rotura (sin carga)	2% a 5%
Alargamiento en rotura de morteros	0,5% a 1%
Coeficiente de dilatación (m/m °C)	2.10□ a 6.10□

Calidad de adherencia al tipo de soporte base:

Buena: Piedra, cerámica, hormigón y acero.
Mala: Cobre, aluminio, plásticos y vidrios.

En general las resinas tienen una baja retracción, menor que las del hormigón.

Aplicaciones de las resinas en Edificación:

- Excelentes revestimientos.
- Inyección de grietas y fisuras.
- Reparación de coqueras.
- Unión de hormigones de distintas edades.
- Adherencia o unión de acero con hormigón.
- Unión de elementos metálicos.

*Productos elaborados para actuaciones sobre hormigones de resistencias no menores de 118 Kg/mm² o **20 N/mm²**. Por lo que debemos evaluar cual es la resistencia que presenta el hormigón a reparar. Pues reparar un hormigón antiguo con una resistencia de 10 N/mm², puede dar problemas a corto plazo, porque la resistencia del hormigón de refuerzo debe ser al menos 5 N/mm² mayor al del núcleo (10 N/mm² + 5 N/mm² = **15 N/mm²** < **20 N/mm²**).*

Problemas generales de la aparición de grietas y fisuras:

- Posibles pérdidas de monolitismo y resistencia.
- Vías de penetración de ataques químicos.
- Aspecto antiestético y alarma de los usuarios.

FASES GENERALES PARA REPARAR UNA FISURA, GRIETA Y OQUEDADES.

a) Analizar y resolver la patología que produjo la fisura. Patologías residuales post-sísmicas.

b) Verificar si son vivas o muertas, en función de su estado elegir la resina adecuada. Si están vivas emplearemos resinas elásticas, si están estabilizadas emplearemos resinas normales.

c) Buscar la formulación epoxi adecuada. Cuanto mayor sea la fisura mayor debe ser la viscosidad.

d) Preparar la superficie:

- Si esta humedad, emplear sistemas de aire caliente.
- Si esta suciedad, limpiarla.
- Si tiene grasa, no puede inyectarse.

e) Inyección. La formula de hacerla depende del ancho de fisura.

Se suele inyectar con una pistola de doble entrada que mezcla con precisión la resina y el endurecedor.

La finalidad de su empleo determinará, si se pretende un simple sellado o rellenado parcial de la fisura, su rellenado total o, además, la misión de pegar un labio con otro.

El método de actual, pasa por realizar previamente un sellado externo mediante una masilla epoxídica con o sin cajeado del hormigón alrededor de los labios de la grieta, para evitar que se salga la resina durante el proceso de inyección.

Hay varias técnicas de inyección que dependen del producto (viscosidad, densidad, tiempo de utilización...), de las condiciones de trabajo (dimensiones de la fisura, presencia de humedad, agua, temperatura ambiente...), o finalidad (relleno parcial o total). La inyección se puede hacer desde la superficie o por el interior del elemento.

En el primer caso los tubos de inyección quedan incorporados con la masilla de cierre, a una distancia variable entre los 30 cm y 100 cm, según sea el espesor de grieta y la viscosidad de la resina.

Se inyecta a baja presión, de abajo a arriba y el tubo superior actúa como testigo del anterior, de modo que se suspende la inyección por el primero cuando la resina sale por el inmediato superior.

Este sistema resulta efectivo para fisuras anchas, pero tiene el inconveniente de que actuar a baja presión no sirve para pegar las caras de la fisura con efectividad.

La inyección interna se realiza a través de perforaciones de 20 a 50 cm de longitud realizadas mediante taladro, que atraviesen la fisura. Se inyecta como en el caso anterior.

La presión introducida en este caso puede ser mayor, y ello permite emplear este sistema para pegar paredes de la fisura.

1.8.2.2. Procedimientos de reparación. Relleno de coqueras y desagregaciones.

La reparación de coqueras, oquedades o desagregaciones en los elementos de hormigón armado debe realizarse con los siguientes criterios generales:

- Si no tenemos la seguridad en que condiciones se encuentra los elementos de hormigón, es preferible demoler.
- Hay que eliminar el hormigón deteriorado hasta encontrar una capa sana y compacta.
- El mortero o hormigón de reparación a emplear debe ajustarse a las prestaciones del hormigón que se repara, con resistencia característica superior en 5 N/mm² al hormigón base.
- Si las armaduras están dañadas será necesario acometer su reparación.

Si las lesiones son superficiales, y no afectan a la resistencia de la estructura, se procederá:

- Limpieza y saneado de la superficie.
- Aplicación de mortero de cemento.

Si las lesiones son medias, y afectan ligeramente al comportamiento y resistencia de la estructura y son de dimensiones más importantes:

- Limpieza y saneado de la superficie.
- Pintado de la superficie con epoxi.
- Relleno con hormigón de resistencia característica superior a 5 N/mm² al hormigón base.

Si las lesiones son importantes, y afectan a la resistencia del elemento. No puede utilizarse el sistema anterior porque el hormigón nuevo no entraría en carga al retraer:

- Limpieza y saneado de la superficie.
- Pintado de la superficie con epoxi.
- Relleno con un micro hormigón de epoxi (de retracción despreciable) o de micro hormigón expansivo de resistencia característica superior a 5 N/mm² al hormigón base.

1.8.2.3. Procedimientos de reparación. Grapado, Anclaje de barras con resinas.

La instrucción EHE no recoge esta actuación en ninguno de sus apartados.

Las longitudes de anclaje establecidas por la EHE no suelen coincidir con las indicadas por los productos de anclaje.

Son productos pensados para este fin, y no hay porque dudar de su eficacia.

Haya que tener un control de su puesta en obra. Si no se cumplen sobradamente las condiciones específicas para este tipo de anclajes, el resultado nunca será el esperado. Normalmente no hace estanca la fisura.

1.8.2.4. Procedimientos de reparación armaduras dañadas por corrosión.

La reparación de barras dañadas por corrosión debe seguir los siguientes pasos:

- Picado y retirado del todo el hormigón que bordea la barra de acero y los restos depositados sobre la misma.

- Esta operación debe hacerse por caras. Nunca dejar descubierto todo un elemento.
- Eliminación de restos de óxido de la superficie empleando el método más adecuado al estado de la barra: cepillado o chorro de arena.
- Imprimación de la superficie de la barra con un pasivante.
- Imprimación de la superficie de hormigón con un puente de unión hormigón viejo-nuevo. Los pasivantes suelen tener también esta propiedad.
- Reconstrucción de la sección con el mortero o micro hormigón más adecuado.

1.8.2.5. Procedimientos de refuerzo de pilares mediante recrecido de hormigón armado.

Consiste el sistema en zunchar el pilar existente, disponiendo el estribado alrededor de armaduras longitudinales, para posteriormente hormigonar, con encofrado o sin él (gunitado).

Deben de tenerse en cuenta todas las indicaciones ya conocidas respecto a la buena práctica: limpieza del soporte a reforzar, distancia de armaduras a aquél y a los parámetros del encofrado, tamaño máximo del árido empleado, etc.

Este sistema es adecuado para:

- El caso en el que la resistencia del hormigón no es la adecuada.
- O el problema es la falta de armadura principal.
- También para el caso de pandeo del pilar. Aumento de cargas.
- El ancho de recrecido no debe pasar de los 10 cm puesto que ha de verter el hormigón entre las armaduras y encofrado.
- Sellado de coqueras y grietas con resinas epoxídicas y para adherir el nuevo hormigón a verter.
- Han de emplearse hormigones de consistencia fluida con árido menor de 12 mm., y de baja retracción y con resistencia característica f_{ck} superior en 5 N/mm² al del núcleo.
- Las armaduras deben anclarse adecuadamente en cabeza y base del pilar.
- Cuando el recrecido sólo es lateral debe garantizarse la unión de los hormigones y el anclaje de los estribos al viejo pilar, mediante las técnicas estudiadas.

Es necesario estudiar también el nuevo estado tensionar de la estructura – que habrá cambiado al aumentar la rigidez del pilar – y la sustentación de las vigas, que descargan ahora en un elemento más ancho.

Además, es evidente que una intervención de este tipo es eficaz únicamente si presentan soluciones de continuidad para toda la elevación, por ello se debe prever:

- la disposición de barras longitudinales de refuerzo, que pasen a través de las estructuras y conectadas a los cimientos.
- Reforzar con estribos continuos estas armaduras en los extremos del pilar (un estribo cada 5 cm., en una longitud 1,5 x el lado del pilar mayor).

Ventajas de este sistema:

- Menor coste
- Mano de obra menos especializada
- Más seguro (la contribución de la estructura antigua es más fiable).
- Efecto de zunchado.

Inconvenientes de este sistema:

- Aumento de las dimensiones de pilares y vigas, con el problema de ocupación de espacios.
- No puede entrar en carga hasta pasado un tiempo prudencial, normalmente más de 20 días.

Este sistema deberá comprender las siguientes fases de ejecución:

- Limpieza esmeralda de la superficie del hormigón del pilar existente.
- Cajear el pilar abriéndole unos huecos hasta describir los estribos para garantizar el efecto de zunchado o confinado del hormigón nuevo con el existente.
- Revestimiento con epoxi de una franja inferior del pilar y de una altura de 60 cm aproximadamente, a efectos de adherencia.
- Colocación de las armaduras principales y en especial de los estribos o cercos.
- Colocación de las hojas laterales de encofrado.
- Relleno y vibrado del hormigón en una primera fase hasta la franja de pintura epoxi.
- Continuar el proceso de vertido y vibrado de hormigón hasta que solo quede una zona superior del pilar una franja de 10 a 20 cm, que se retacará pasados 24 horas para permitir la retracción del resto del pilar. Poner en la cabeza del pilar una hélice de zunchado (10 a 20 cm.).
- Dejar curar y fraguar durante al menos 10 días. **Ver foto inferior.**



Foto. El apeo supletorio como el que aquí se representa permite realizar operaciones de refuerzo del pilar de hormigón armado con lesiones graves. El procedimiento a seguir ha sido el de ampliar la sección del pilar de hormigón con el mismo material, creando una pantalla o contra fuerte en planta baja blanda, solución antisísmica muy ideal.

El procedimiento de refuerzo de pilares mediante recrecido de hormigón armado:

Consiste en zunchar el pilar de hormigón armado existente con lesiones graves, y disponiendo el estribado alrededor de armaduras longitudinales, para posteriormente hormigonar, con encofrado o sin él (gunitado).

1.8.2.5.6. Procedimientos de refuerzo de pilares dañados por sismos o impactos mediante recrecido de hormigón armado.

- Daños pequeños localizados en pilares que no comprometen su resistencia (fisuras, grietas y oquedades).

- En este caso, se resuelve con los procedimientos indicados en los apartados anteriores, mediante una inyección con epoxi.

- Daños localizados en pilares con capacidad resistente de al menos el 45 %.
 - Se procede a reforzar sólo en la zona dañada del pilar.
 - Se descubre su armado y se pone el mismo.
 - Las barras nuevas se sueldan a las existentes del pilar con horquillas de diámetro 10 mm.
 - Se procede al recrecido con mortero o micro-hormigón con espesores no menores a 3 cm.

- Daños graves en pilares. Pérdida de la capacidad resistente mayor del 50 %.
 - Inmediatamente proceder a su apuntalamiento/apoyo.
 - Proceder a su refuerzo conforme a lo descrito en el apartado 1.8.2.5.
 - Se pone el mismo armado sujeto con horquillas de acero de 10 mm de diámetro.
 - Colocación de cercos o estribos de redondo de 8 mm separados cada 5 cm en la zona dañada del pilar en una longitud igual al lado mayor del pilar y cada 10 cm en el resto del pilar en una longitud no menor a 1,5 veces el lado mayor del pilar. **Ver foto superior e inferior.**



Detalle de armado de cabeza del nuevo pilar adosado al existente

1.8.2.6. Procedimientos de refuerzo de pilares mediante empresillado metálico.

El refuerzo de pilares debe llevarse a cabo cuando, por deficiencias del material de constitución, o de ejecución, o bien por imprevisto aumento de cargas, el pilar no tiene la sección necesaria para cumplir su misión.

El refuerzo de pilares con perfiles metálicos es muy frecuente y efectivo a condición de que el refuerzo pueda resistir la totalidad de la carga.

En este caso, el sistema consiste en disponer de cuatro angulares metálicos en las cuatro aristas del pilar, unidos entre sí por presillas de acero que se sueldan a los angulares. Una vez presentado el conjunto, se suelda completamente, asegurándose de que no hay huecos.

Se remata el esfuerzo en la cabeza, creando una ménsula de apoyo sobre los perfiles, constituida por otros cuatro angulares rigidizados por cartelas. Esta ménsula tiene por objeto recoger y repartir las cargas procedentes de los elementos que descansan sobre el pilar.

Puede mejorarse el sistema soldando unos vástagos por la parte posterior de los perfiles que constituyen la ménsula. Estos vástagos se introducen en nichos creados al efecto, hasta las armaduras del pilar original, rellenos posteriormente desde arriba mediante mortero de resinas epoxi. También puede reforzarse la cabeza del pilar, atravesándola con un perfil T de acero que se hace descansar sobre un primer juego de presillas en ángulo.

El refuerzo debe continuarse hasta la cimentación. Cada tramo de planta (entre forjados) debe transmitir sus cargas al siguiente por medio de chapas de continuidad (vigas de colgadas o semi-empotradas en forjados) o tochos (vigas colgadas cruzadas).

Las cargas pueden transmitirse por compresión del hormigón de los forjados entre la base de un tramo y el capitel del tramo inferior (casi inevitable en forjados unidireccionales con vigas planas de carga), pero si se hace hay que comprobarlo cuidadosamente a compresión y/o a punzamiento, según los casos.

Conviene descargar el pilar antes de reforzarlo, si se puede

Usualmente, cuando se refuerza mediante perfiles, se calculan éstos para resistir toda la carga que originalmente soporta el pilar. En cambio, cuando el refuerzo es de hormigón, suele contarse con la parte proporcional de carga que pueda resistir el pilar original. El refuerzo resistirá la carga restante.

Ventajas de este sistema:

- Rápidos y relativamente menor coste
- La estructura puede entrar en carga casi inmediatamente de la ejecución del refuerzo.

Inconvenientes de este sistema:

- La colaboración o confinamiento con la estructura inicial es poco fiable.
- Puede introducir sobre tensiones en otros elementos estructurales existentes que antes del refuerzo estaban correctamente diseñados.
- Es especialmente delicado el nudo de unión de pilar-viga, ver figuras siguientes.

Por lo tanto, es necesario estudiar también el nuevo estado tensional de la estructura – que habrá cambiado al aumentar la rigidez del pilar – y la sustentación de las vigas, que descargan ahora en un elemento más ancho, y así evitar los errores de la foto superior, en su caso.

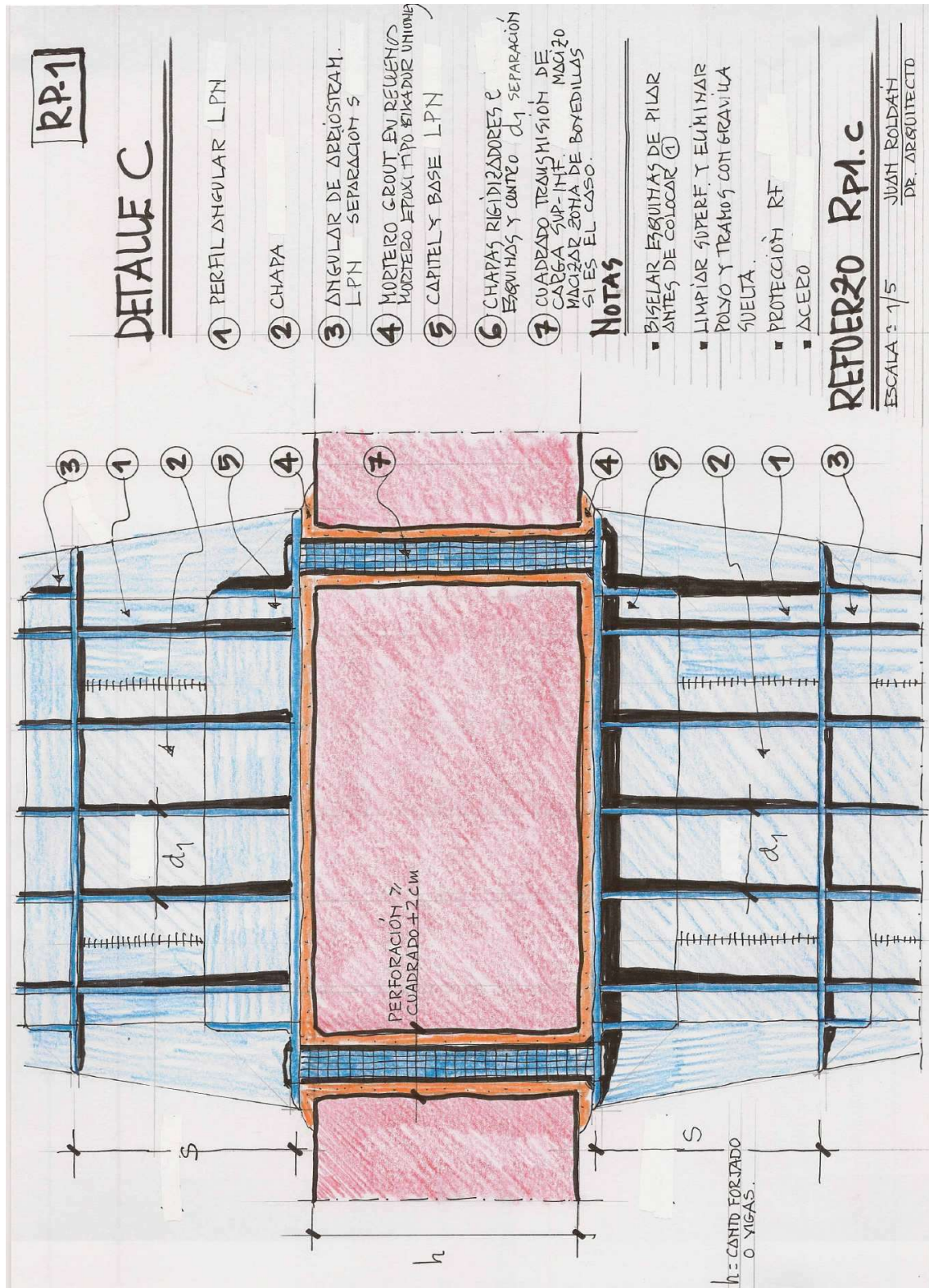


Detalle de nudo pilar-viga, unión poco fiable, falta de confinamiento.



Como se aprecia en esta foto, se sigue experimentando, el pilar de la izquierda esta preparado para ser terminado con un recrecio de hormigón, además del refuerzo metálico y la armadura de acero corrugado, se aprecia un refuerzo de chapa atornillada en base de viga colgada o zuncho posiblemente para conectar el refuerzo del pilar. Se supone que el técnico ha evaluado las rigideces y sobretensiones tan dispares que se han creado y afectan a otros elementos estructurales.

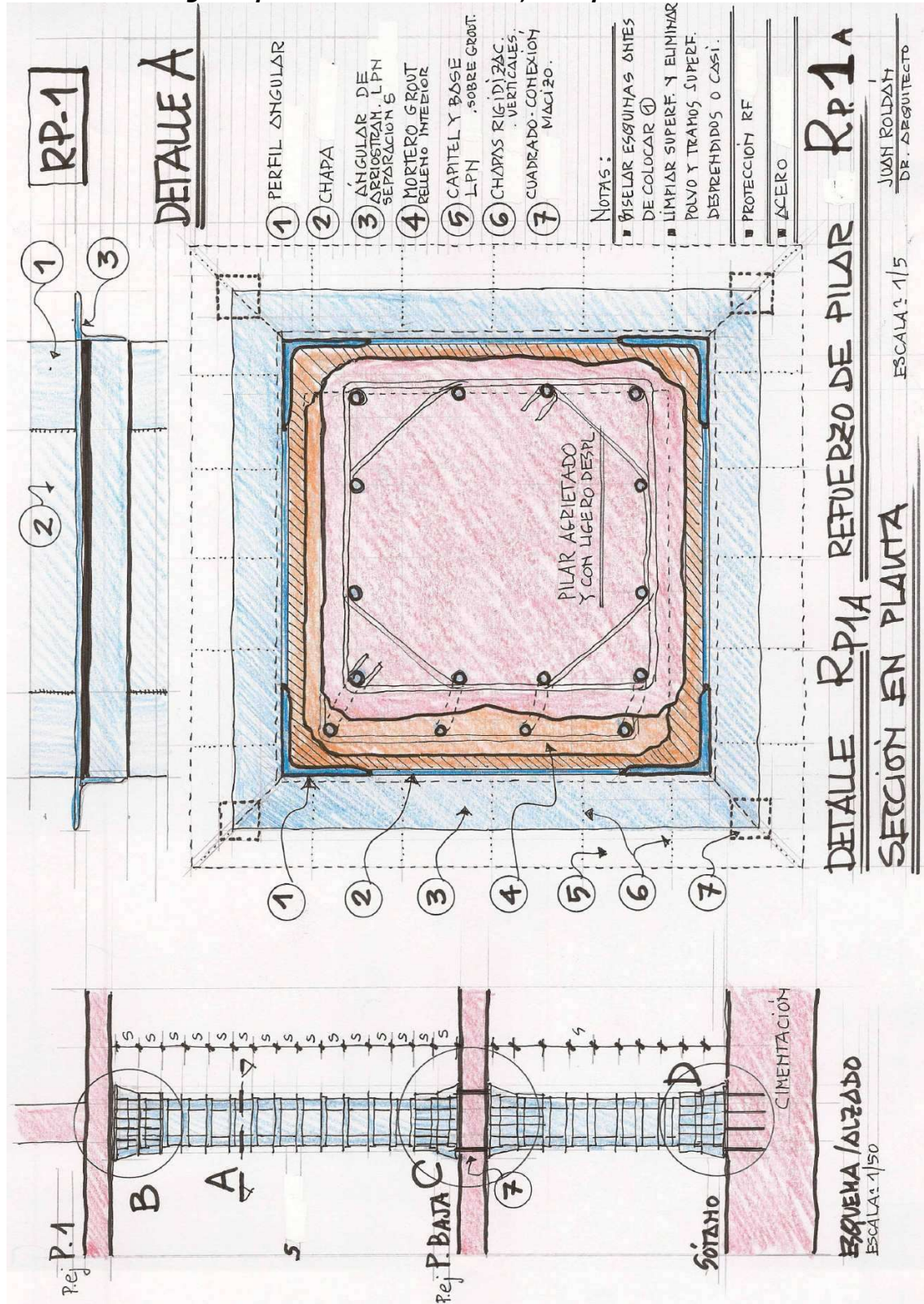
Intervenciones antisísmicas en Edificios dañados por sismo. El terremoto de Lorca del 11 de mayo de 2011.



Detalle constructivo de transmisión de cargas entre forjados. Autor el Doctor Arquitecto Juan Roldán

Las cargas pueden transmitirse por compresión del hormigón de los forjados entre la base de un tramo y el capitel del tramo inferior (casi inevitable en forjados unidireccionales con vigas planas de carga), pero si se hace hay que comprobarlo cuidadosamente a compresión y/o a punzamiento, según los casos.

Conviene descargar el pilar antes de reforzarlo, si se puede



Sección de refuerzo de pilar de hormigón armado, donde se observa que las esquinas del mismo se han desmochado para mejor encajar angulares de acero. Detalles constructivos diseñador por el Doctor Arquitecto Juan Roldán.

1.8.2.7. Procedimientos de refuerzo de pilares mediante camisa metálica. Pilares entubados.

Este sistema se emplea cuando no se dispone de espacio para hacer un recrecido mayor.

Consiste el sistema en zunchar el pilar existente, forrándolo con una chapa de acero de 4 a 5 mm de espesor, para posteriormente verter el mortero especial denominado grout.

Se deja una holgura de unos 2 cm. que se rellena con un mortero fluido ligeramente expansivo, tipo grout.

La chapa debe aportar la cuantía suficiente de acero que pudiera ser deficitaria, pero al mismo tiempo confina el hormigón antiguo.

Como en todos los refuerzos debe garantizarse la transmisión de esfuerzos en cabeza y base, además de que se debe disponer un elemento que impida el abombamiento de chapa por efecto del empuje del mortero expansivo.

Deben de disponerse de cánulas intermedias de control de llenado y de purgado del aire para verificar que el relleno se hace completamente.



Detalle constructivo de refuerzo en cabeza de pilar a base de forrado metálico de longitud 1/3 de la luz del pilar, por daños del terremoto en Lorca. Dicha solución intenta reforzar la cabeza del pilar a esfuerzo cortante, pero también esta creando un cambio de rigidez en la parte superior, además es un pilar de planta baja, planta blanda. Habría que ver como se comportaría con un nuevo terremoto. ¿ROMPERIA EL FORJADO O EL APOYO DE LA VIGA POR

Intervenciones antisísmicas en Edificios dañados por sismo. El terremoto de Lorca del 11 de mayo de 2011.

LA REGIDEZ INTRODUCIDA, O POR EL CONTRARIO LA RIGIDEZ DEL PILAR SERIA IGUAL SUPERIOR A LA DEL FORJADO? ¿PILAR FUERTE Y FORJADO DEBIL?

Por lo tanto, es necesario estudiar también el nuevo estado tensi3nal de la estructura – que habr3 cambiado al aumentar la rigidez del pilar – y la sustentaci3n de las vigas, que descargan ahora en un elemento m3s ancho, y as3 evitar los errores de la foto superior, en su caso.



Y esta es la soluci3n de refuerzo que le han dado al pilar de esquina de la misma fachada, Los pilares de fachadas y en especial los de esquina son los que est3n sometidos a mayores esfuerzos tanto horizontales como verticales en caso de movimientos s3smicos. Supongo que Intervenciones antis3smicas en Edificios da3ados por sismo. El terremoto de Lorca del 11 de mayo de 2011.

se ha evaluado el nuevo estado tensionar de la estructura. Este tipo de refuerzo se utiliza para aumentar la cuantía mecánica del pilar (tensiones de tracción y cortante), porque se supone que se ha evaluado que las tensiones de compresión son admisibles.



Foto. *El apeo supletorio* también ha permitido realizar operaciones de refuerzo del pilar de hormigón armado con lesiones graves. El procedimiento empleado ha sido el de refuerzo mediante camisa metálica. Pilares entubados.

Este sistema se emplea cuando no se dispone de espacio para hacer un recrecido mayor. Consiste el sistema en zunchar el pilar existente, forrándolo con una chapa de acero de 4 a 5 mm de espesor, para posteriormente verter el mortero especial denominado grout.



En la Foto. *El apeo supletorio* esta colocado de forma tal que ha facilitado realizar los trabajos de refuerzo de la cabeza del pilar por el sistema de encamisado metálico y mortero de resina en rellenos.



Intervenciones antisísmicas en Edificios dañados por sismo. El terremoto de Lorca del 11 de mayo de 2011.

Foto. El apeo supletorio esta colocado de forma tal que esta facilitando la ejecución de trabajos de refuerzo forrado del pilar por el sistema de encamisado metálico y mortero de resina en rellenos.

1.8.2.8. Procedimiento general de refuerzo de vigas de hormigón armado

Se procede al refuerzo de vigas normalmente cuando éstas presentan lesiones de falta de resistencia a esfuerzo cortante o a flexión. En el primer caso, tal deficiencia se debe a escasez de armadura transversal y/o de sección de hormigón. En el segundo caso, se debe a escasez de armadura de tracción y/o falta de canto.

En ocasiones, el refuerzo debe llevarse a cabo por un aumento imprevisto de cargas en la viga, que lleva aparejada la necesidad de refuerzo en los pilares; en estos casos, resulta práctico casi siempre reforzar a base de perfiles metálicos, tanto en unos como en otros elementos. Si es así, viene a ser más económico proyectar el refuerzo de la viga, de modo que los perfiles – laterales o inferiores – resistan la totalidad de la carga, que disponerlos para absorber sólo las tracciones, porque la conexión acero-hormigón, en este último caso resulta dificultosa, lenta y cara.

Otras veces, si el deterioro de la zona de tracción es grande, el cajeado puede efectuarse por encima de la propia armadura de tracción.

Para reforzar vigas o zunchos mediante bandas de fibra de carbono será preciso comprobar que la línea neutra del elemento se sitúe al menos a 10 cm., por debajo de la cara inferior del forjado, el procedimiento será el siguiente:

- Se realizará un abujardado mecánico de las tres caras vistas del elemento (viga o zuncho) en una longitud equivalente a un cuarto de la luz del elemento a reforzar, con redondeo de las aristas.
- Se procederá la imprimación del soporte mediante resina del tipo Sikadur 330 o equivalente.
- Se procederá la colocación del refuerzo con bandas de fibra de carbono tipo FRP y FRG System o Sika Wrap 230C o equivalente, con un solape entre banda de 5 cm., prestando especial atención a situar los tejidos en la dirección adecuada e instrucciones del fabricante.
- Tras la colocación de la banda se presionarán las mismas con rodillo hasta que la resina rebose a través de los huecos de la fibra.
- Seguidamente se aplicará una capa de arena de cuarzo sobre la resina aún fresca con el fin de facilitar la adherencia del revestimiento posterior.
- Para terminar y proteger el refuerzo se proyectará en una longitud suficiente para conseguir un solape de al menos 20 cm., y de 2 cm. de espesor de mortero ignífugo compuesto por áridos ligeros expandidos de perlita o vermiculita, tipo Perlifoc a similar, para conseguir una RF-120

1.8.2.8.1. Procedimientos de refuerzo de vigas de hormigón armado por recrecido del canto de la viga suplementando la armadura que sea precisa.

Este sistema puede presentar los siguientes problemas:

- Normalmente no será posible descargar totalmente la viga, con lo que la armadura existente estará sometida a tensión. Cuando se ejecuta el refuerzo la nueva armadura está descargada, por lo que al entrar en carga la antigua armadura tendrá que soportar las tensiones residuales anteriores más las que se producen del nuevo estado de equilibrio.

- Verificar y comprobar la posibilidad de que se plantee cualquier otro tipo de problema.

El procedimiento de ejecución será:

- Picar y descarnar la capa inferior de la viga de hormigón, hasta dejar vistas las armaduras. Ejecutar un buen cajeado del hormigón.
- Colocar nuevos estribos que sean capaces de absorber los esfuerzos de desgarramiento entre hormigón antiguo y el nuevo.
- Hacer una buena unión entre hormigones, con resina epoxi, adecuada al uso.
- Colocar nuevas armaduras longitudinales y hormigonar con micro-hormigón de baja retracción.
- En general, la nueva armadura se calcula para soportar el momento total. La armadura no podrá alcanzar su límite.

1.8.2.8.2. Procedimientos de refuerzo de vigas de hormigón armado, por colocación de nueva armadura, sin recrecido del canto de la viga.

Este procedimiento exige una ejecución muy especializada y cuidadosa.

La armadura antigua puede trabajar hasta su límite elástico: Verificar y comprobar de forma escrupulosa sus tensiones

1.8.2.8.3. Procedimiento de refuerzo de vigas de hormigón armado a Cortante.

El procedimiento de refuerzo más sencillo y práctico consiste en añadir los estribos que sean necesarios y cerrar con mortero epoxi.

Es muy importante el correcto apuntalamiento de la viga.

Otro procedimiento consiste en reforzar la parte inferior de la viga con angulares que se sujetan con presillas de ancho de 20 a 25 cm.

Ventajas:

- Es sencillo y rápido.

Inconveniente:

- No siempre puede ejecutarse.
- Es poco fiable por no garantizar el trabajo conjunto hormigón-armadura-refuerzo. Puede mejorarse la transmisión de esfuerzos uniando los angulares al hormigón con epoxi.
- En general precisa grandes deformaciones para que entre en carga el refuerzo.

1.8.2.8.4. Procedimiento de refuerzo de vigas de hormigón armado con cables metálicos (postensado).

Ventajas:

- Permite actuar sobre elementos deformados sin necesidad de descargarlos.
- No precisa deformaciones para que el refuerzo entre en carga.
- Permite recuperar deformaciones.
- Es muy favorable en refuerzos a flexión y cortante, en especial estructuras muy dañadas.

Inconvenientes:

- Necesita personal muy experto.
- Produce en general grandes esfuerzos horizontales que la estructura puede ser incapaz de absorber en especial si se ha plastificado

1.8.2.8.4.1. Procedimiento de refuerzo de vigas de hormigón armado con cables: sistemas atirantados.

Se ejecuta con tirantes roscados en sus extremos, puestos en tensión por atornillado.

Se emplean para reparar vigas con lesiones medias en centros de vano.

Reparación de viga.

Reparación de forjado.

En este caso conviene recuperar antes la flecha por medio de gatos para no forzar en exceso de rosca. En casos pequeños pueden emplearse cuñas. Exige un diseño cuidadoso de los elementos de anclaje.

1.8.2.8.4.2. Procedimiento de refuerzo de vigas de hormigón armado con cables: sistemas de cables. Conectores. Aplicaciones.

Son los mejores sistemas, pero exigen mano de obra muy especializada. Al colocarse exteriormente a la pieza permiten un fácil control. Por sus pequeños espesores pueden disimularse fácilmente.

Recuperación y refuerzo de una viga muy dañada. Ejemplo gráfico.

1.8.2.8.4.3. Procedimiento de refuerzo de vigas de hormigón armado con cables: Aplicaciones: Supresión de un pilar, Postensado de una viga, Postensado de un voladizo y Refuerzo a cortante.

La Técnica del postensado permite, mediante la introducción de fuerzas controladas en el lugar apropiado, reducir determinadas tensiones a las que no puede hacer frente el material por sí solo, a costa de aumentar otras que pueden ser resistidas de manera menos problemática.

Los esfuerzos pos-tensados son especialmente útiles en algunos casos en los que otro tipo de refuerzo, como los ya vistos de hormigón armado o perfilaría metálica, no son tan eficaces.

Inconvenientes:

- Son más caros y necesita personal muy experto.
- Se requiere una cuidadosa ejecución.
- Se precisa un detallado estudio del estado tensional y de la capacidad estructural en su conjunto, para admitir los esfuerzos adicionales del pos-tensado, de los posibles efectos secundarios desfavorables que estas fuerzas puedan provocar si se ha plastificado en otros lugares de la estructura.

Su aplicación más habitual es el caso de elementos horizontales, vigas o losa, por deformaciones a flexión excesivas, sobre todo cuando no es posible descargarlos.

El procedimiento de ejecución será:

Intervenciones antisísmicas en Edificios dañados por sismo. El terremoto de Lorca del 11 de mayo de 2011.

Se introduce o se adosan, mediante diversos sistemas, los cables que se tensarán a continuación debiendo adoptar estos un trazado lo más parecido al perfil de la ley de momentos flectores.

De esta manera los cables o barras pos-tensadas pasan a soportar las tracciones que antes soportaban insuficientemente las armaduras del elemento estructural pudiendo llegar, si se aplica la fuerza necesaria, a cerrar las fisuras que se hubiesen abierto en el hormigón, y trabajando este exclusivamente a compresión.

Previamente al tensado de los cables es conveniente sellar las fisuras con inyección de resinas si existe la posibilidad de que lleguen a formar planos de deslizamiento en el momento de aplicar las fuerzas de tensado.

1.8.2.8.5. Procedimiento de refuerzo de vigas de hormigón armado con bandas metálicas. Uniones encoladas con epoxi.

Ventajas:

- Son muy efectivas.
- Son relativamente fácil de ejecutar.
- Apenas aumentan las secciones o dimensiones del elemento.

Inconvenientes:

- Exige una elección adecuada de la resina epoxi. Si presentan relajaciones por fluencia se convierten en totalmente inútiles.
- Exige una cuidadosa preparación de la superficie a encolar.
- Hay que hacer un análisis muy cuidadoso del cálculo de adherencia entre acero y hormigón.
- Cuidar el caso de ciclos de carga y descarga: Hay formulaciones epoxi que no pueden resistirlos.

Precauciones:

- Limpiar las superficies a unir y en especial la humedad, polvo o grasa. Se aconseja emplear el chorro de arena. Si no es posible se puede emplear el abujardado de grano fino y cepillado con cepillo de alambre duro.
- Limpiar la chapa inmediatamente antes de pegarla.
- Tratar de conseguir superficies planas.
- Tratar de conseguir espesores reducidos: lo ideal sería del orden de 1 mm. Muy difícil de conseguir en obra.
- Un tiempo de aplicación óptimo y un tiempo de endurecimiento de al menos siete días, durante los cuales se debe mantener una presión entre los dos elementos que se encolan.
- Exigir una formulación adecuada.

Las características del tipo de masillas epoxídicas tipo para emplear en encolados de acero de hormigón, es la siguiente:

	Tipo de Masilla epoxi
Resistencia a compresión (Kp/cm ²)	1000 a 1200
Resistencia a flexo tracción (Kp/cm ²)	400 a 450
Módulo dinámico de elasticidad (Kp/cm ²)	(17 a 22) x 10 ⁴
Módulo dinámico elasticidad transversal	(7 a 8,5) x 10 ⁴
Coeficiente de Poisson (Kp/cm ²)	0,27

Intervenciones antisísmicas en Edificios dañados por sismo. El terremoto de Lorca del 11 de mayo de 2011.

Coeficiente de dilatación (m/m °C)	(2 a 2,5).10 ⁻⁵
------------------------------------	----------------------------

1.8.2.8.6. Procedimiento de refuerzo de vigas de hormigón armado con bandas metálicas a flexión.

Generalmente solo es posible el refuerzo de vigas para momentos positivos. Hay que aceptar una plastificación suficiente para momentos negativos.

En este caso, también se puede asegurar el funcionamiento conjunto mediante el anclaje mecánico adicional de las pletinas metálicas a la viga.

1.8.2.9. Procedimientos de refuerzo de forjados.

Patologías generales que se pueden presentar.

- Deformaciones excesivas.
- Efecto de punzonamiento.
- Apertura de huecos.
- Deformaciones o defectos en voladizos.

Tipos de Refuerzo a deformaciones de flexión:

Refuerzo inferior mediante vigas metálicas (parteluces).

- Tradicionalmente se ha empleado perfiles de acero normalizados.
- En la actualidad se disponen de perfiles extensibles que permiten adaptarse a la luz de crujía con facilidad. El sistema resulta más rápido y limpio en ejecución.
- Cualquiera de los casos, requiere ser puestos en carga en el momento del refuerzo.
- Produce momentos negativos en las viguetas que pueden exigir colocar una malla sobre la viga parteluz.
- Unión muy cuidadosa con el forjado. Es necesario acuarlos para garantizar esta puesta en carga, empleando mortero de alta resistencia y ligeramente expansivo.

En este sistema de refuerzo las vigas se calculan como biapoyadas en vigas soporte unidas a un zuncho en la cabeza de los pilares.

Refuerzo inferior mediante bandas metálicas (encoladas).

- Bandas metálicas encoladas con resina epoxi: Se calculan igual que en el caso de vigas. En este caso, es preferible no tener en cuenta la armadura de la viga.

Recrido superior del canto mediante una losa de hormigón.

- En este tipo de refuerzo, también debe garantizarse la unión entre hormigón viejo y nuevo por lo que, además de la imprimación de resina, deberán emplearse conectores. Estos conectores serán en un número por m², que vendrá dado por el calculo del esfuerzo que queremos transmitir al forjado.

- Es espesor tal debe ser el que permita la envoltura de las armaduras de reparto del forjado por el hormigón. Los espesores deben ser del orden de 8 a 10 cm.

Refuerzo mediante fibra de carbono.

- Con este sistema se consiguen resistencias a la tracción hasta 10 veces mayor que el acero.
- Son adecuados para refuerzos en los que el problema es la cuantía de acero, aunque también puede usarse para confinar el hormigón (cabeza o base de pilares, nudos de pilar-viga, base de viguetas de hormigón de forjados, nervios de forjados reticulares, refuerzos de pilares en esquinas, etc.)

Pero como todo refuerzo tiene las siguientes ventajas:

- Las secciones empleadas tienen espesores mínimos entre 1 y 2 mm.
- Es flexible y se adapta al contorno.
- Entra en carga al instante de ser instalado.
- No presenta problemas de corrosión.

Pero también tiene sus inconvenientes:

- Al ser adherido, la superficie debe de presentar una resistencia a tracción mínima de 1 N/mm² a 1.5 N/mm².
- La rugosidad, conseguida mediante chorreo de arena, bujarda, etc., debe ser la adecuada.
- No resiste bien el fuego.

Tipos de Refuerzo a punzonamiento de forjado:

- Capitel de hormigón.
- Capitel metálico.

Refuerzo mixto (hormigón y acero) de losa de forjados de hormigón.

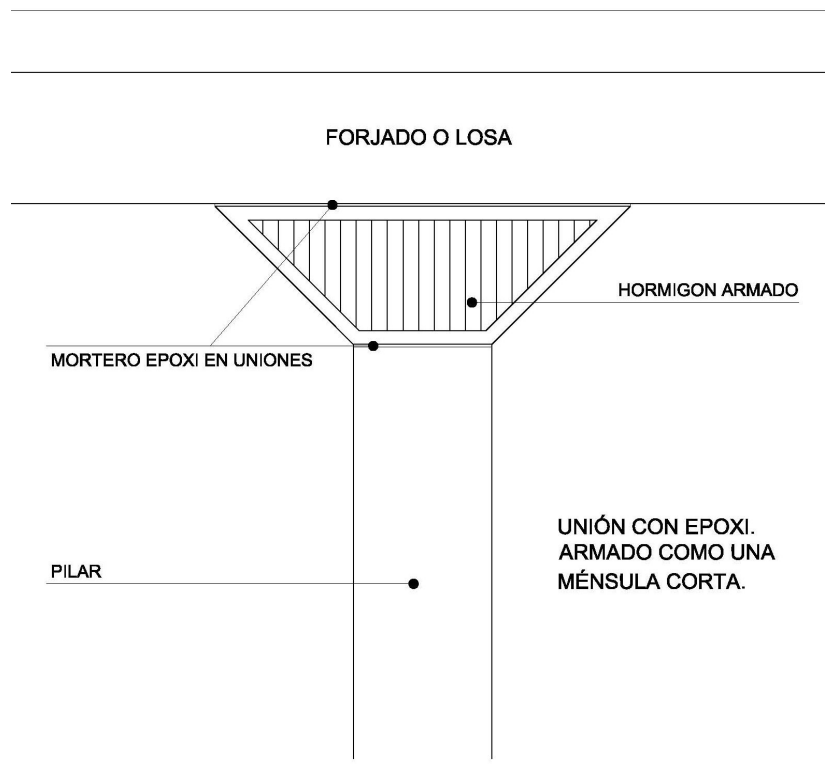
Un sistema también válido para losas de forjados se obtiene convirtiendo la sección de hormigón existente en una sección mixta mediante, un perfil metálico y conectores.

- Unión muy cuidadosa con la losa. Es necesario acuar los perfiles para garantizar esta puesta en carga, empleando mortero de alta resistencia y ligeramente expansivo.

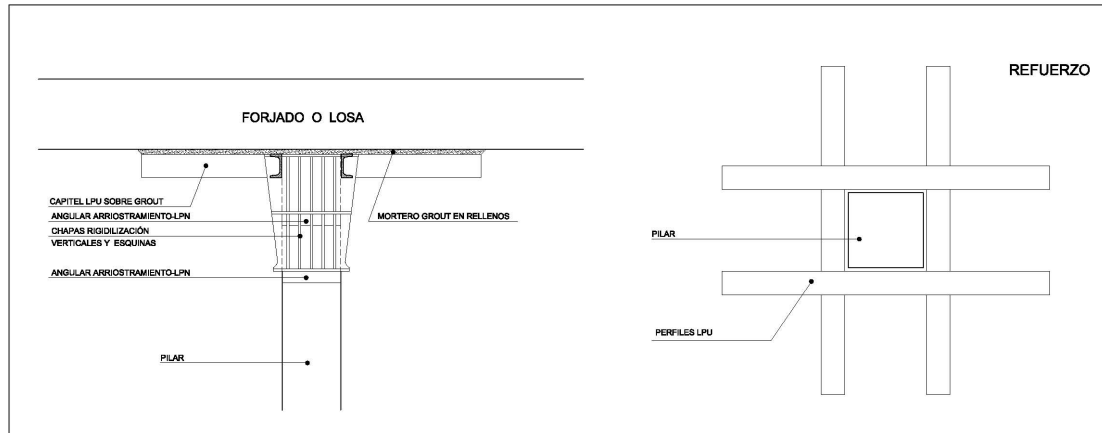
a) Formación de capitel de hormigón armado en cabeza de pilar.



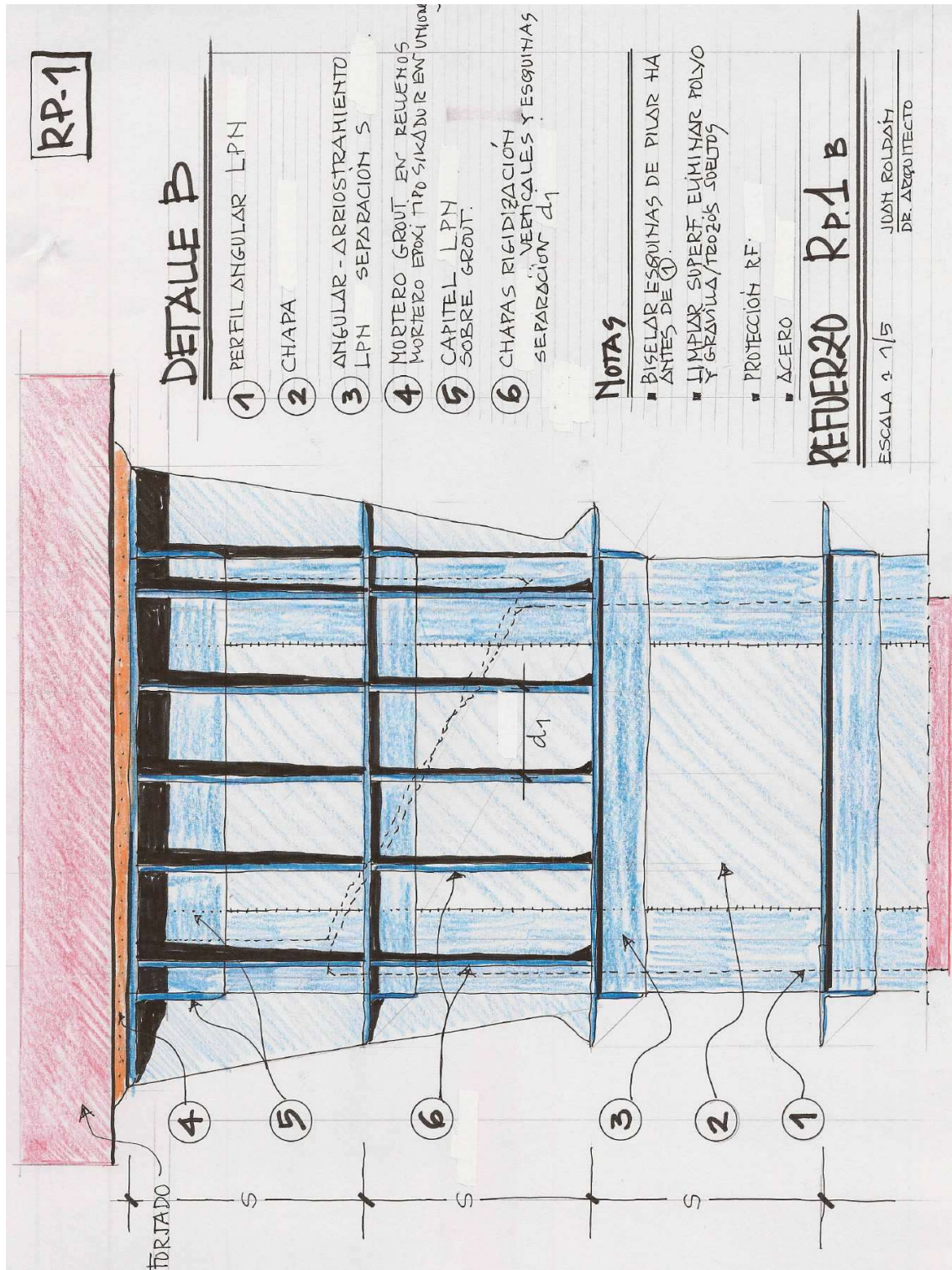
Detalle de capitel de hormigón armado y reparación de lesiones por sismo con mortero epoxi en su collarín. Edificio en Lorca.



b) Formación de capitel con angulares metálicos.



Es importante que en la ejecución de estos refuerzos: acuar y retacar los perfiles metálicos contra el forjado y pilar con mortero epoxi de alta resistencia y ligeramente expansivo. Se calcula a cortante.



Detalle de refuerzo de capitel en cabeza de pilar reforzado con angulares de acero. Autor el Doctor Arquitecto Juan Roldan.

1.8.2.10. Procedimientos con contravientos o inserción de paredes.

La inserción de paredes de corte tiene la finalidad conclusiva de estabilizar el edificio frente a acciones horizontales. Si el refuerzo que se debe realizar no es muy importante, será suficiente insertar cerramientos de mampostería de ladrillos llenos entre las vigas y pilares existentes, sobre todo en plantas bajas diáfanas con pilares más esbeltos.

De otro modo, se deberá recurrir a la inserción de armaduras metálicas endurecidas por cortavientos en forma de cruz de San Andrés o bien a bastidores o a muros de hormigón armado propiamente dichos.

1.8.2.11. Procedimientos de refuerzo de Pilar de hormigón armado mediante bandas de fibra de carbono.

Se empleara cuando se observe fisuración ligera en la base y/o en la cabeza de los pilares del sótano y/o de la planta baja, producida por el fenómeno conocido como "piso blando o planta baja débil", consistente en el desplome excesivo del techo de la planta baja en relación con los desplomes de las plantas superiores debido, fundamentalmente, a la gran diferencia de rigidez entre la planta baja, muy flexible, y las plantas superiores mucho más rígidas por su menor altura y la gran rigidez aportada por los cerramientos y tabiquerías de fábrica.

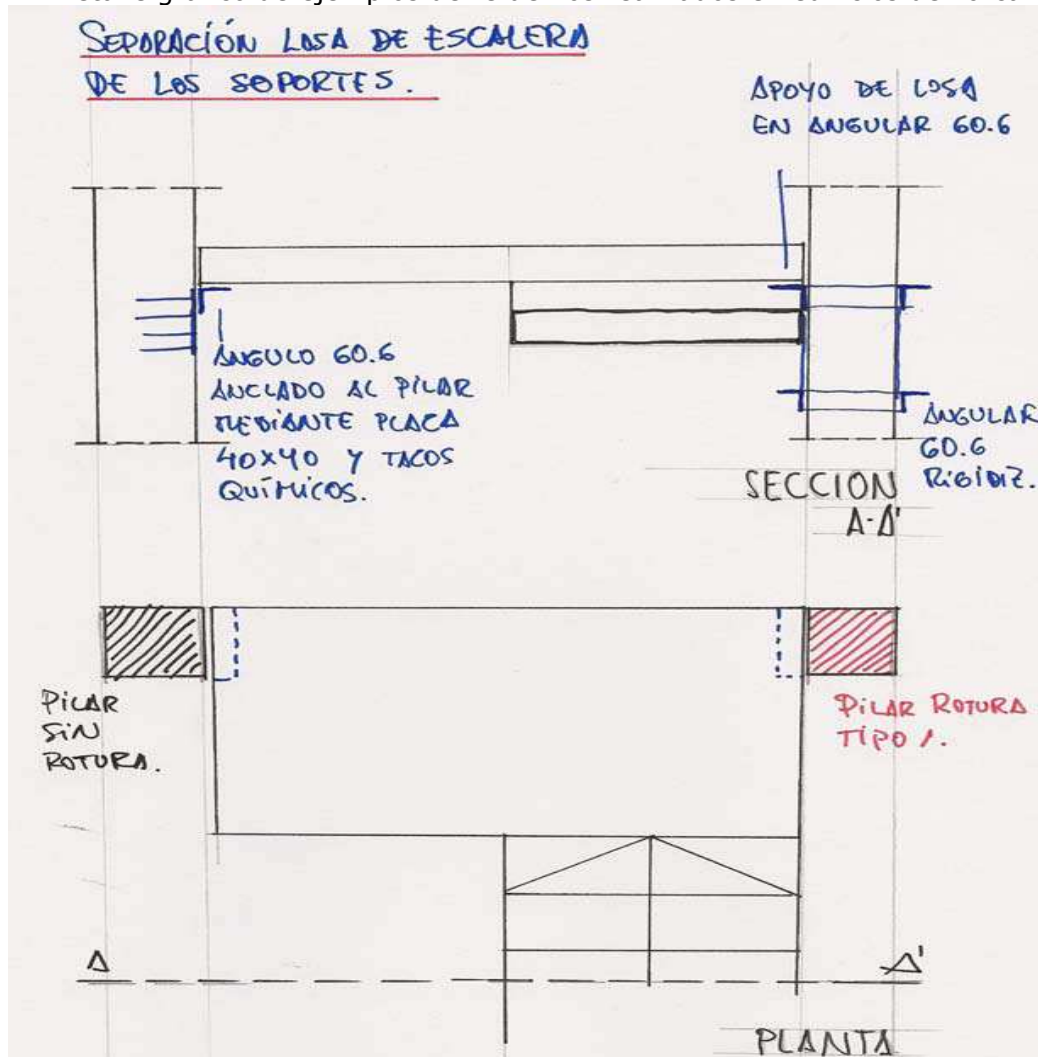
Este tipo de fisuración ligera, que puede presentarse con caída del recubrimiento de las armaduras en algunos casos, no reviste una especial gravedad, aunque, evidentemente, los pilares deben ser reforzados a flexión y cortante, utilizando materiales "composites" de alta resistencia y alto límite elástico como la fibra de carbono, para mejorar su comportamiento ante posibles réplicas o nuevos terremotos de mayor magnitud que el ocurrido en Lorca el pasado 11 de mayo 2011.

Para el refuerzo de un pilar mediante bandas de fibra de carbono, se procederá del siguiente modo:

- Se realizará un abujardado mecánico de las cuatro caras vistas del pilar en una longitud equivalente a un 1,20 m de los extremos del pilar lesionados, con redondeo de las aristas.
- Se procederá la imprimación del soporte mediante resina del tipo Sikadur 330 o equivalente.
- Se procederá la colocación del refuerzo del pilar con 4 bandas de fibra de carbono tipo FRP y FRG System o Sika Wrap 230C o equivalente, con un solape entre banda de 5 cm., prestando especial atención a situar los tejidos en la dirección adecuada e instrucciones del fabricante.
- Tras la colocación de la banda se presionarán las mismas con rodillo hasta que la resina rebose a través de los huecos de la fibra.
- Seguidamente se aplicará una capa de arena de cuarzo sobre la resina aún fresca con el fin de facilitar la adherencia del revestimiento posterior.
- Para terminar y proteger el refuerzo se proyectará en una longitud suficiente para conseguir un solape de al menos 20 cm., y de 2 cm. de espesor de mortero ignifugo compuesto por áridos ligeros expandidos de perlita o vermiculita, tipo Perlifoc a similar, para conseguir una RF-120

1.8.2.12. Procedimientos de refuerzo. Separación de losas de escalera de elementos estructurales.

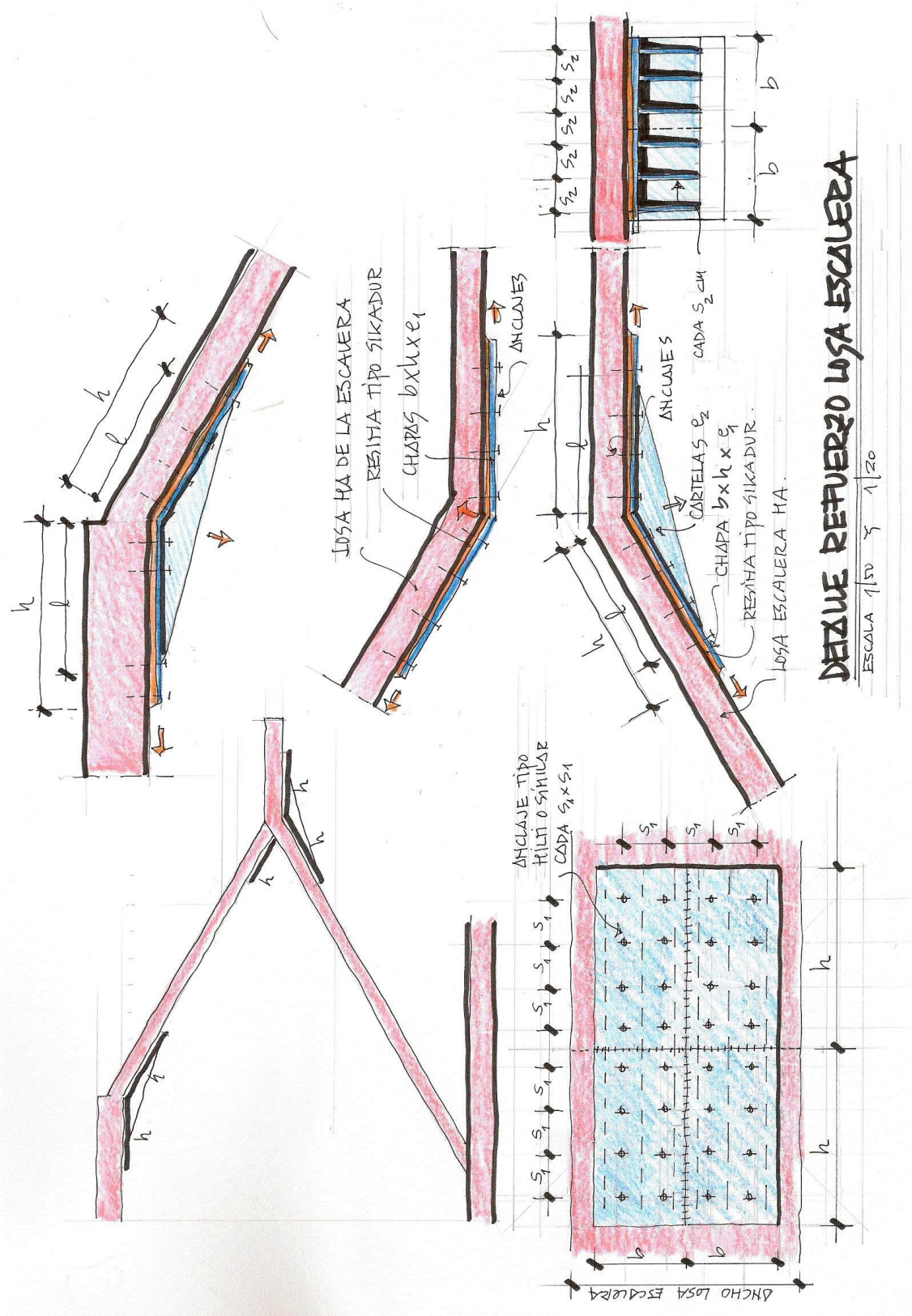
Detalle grafico de ejemplos de refuerzos realizados en edificios de Lorca.



Ejemplo de refuerzo diseñado en Lorca por Dr. Arquitecto: Juan Roldán

1.8.2.12. Procedimientos de refuerzo/reparación de losas de escalera.

Detalle de las especificaciones del refuerzo de losa de escalera de HA.



DETALLE REFUERZO LOSA ESCALERA

ESCALA 1/50 y 1/20

Ejemplo de refuerzo diseñado en Lorca por Dr. Arquitecto: Juan Roldán

Descripción del Elemento	Dimensionamiento
Losa de hormigón armado	El inicial de la construcción
Chapa metálica de refuerzo	Nº de chapas: 4 Ud., 2 Ud., en cada lado Del quiebro. Espesor: $e > 6 \text{ mm.}$, bxh: $80 \times 40 \text{ cm}^2$
Cartela de chapa metálica altura variable.	Nº de cartelas: 6 Ud. Espesor: $e > 6 \text{ mm.}$, L: 60 cm. Separación $s = 15 \text{ cm.}$
Mortero de resina de adhesión y reparto.	Tipo: Sikadur en uniones.
Anclajes. Tipo Hilti o similar.	Nº 8 ud., por chapa, 32 ud. Por cada Zona de quiebro. Separación $s = 20 \text{ cm.}$

Procedimiento de ejecución:

- Limpiar las superficies y eliminar los restos de polvo y partículas sueltas, así como tramos sueltos casi desprendidos.
- Antes del refuerzo se debe llevar a cabo la reparación de las zonas afectadas mediante el saneado de la zona (repicado), la pasivación de las armaduras (Sika Monotop o similar) vistas de la losa y la reparación del hormigón desprendido (Sika Top/Monotop o similar).
- Proceder a proteger los refuerzos metálicos con pinturas RF-120.
- Empleo de acero S 275.

BIBLIOGRAFIA

"Ruinas en construcciones antiguas, causas, consolidaciones y traslados"
Gabriel López Collado. 1982

"Fotos del terremoto de Lorca". Ceditas por el CEIS. Mayo 2011.

"Fotos del terremoto de Lorca". Ceditas por el SEIS. Mayo 2011.

"Fotos del terremoto de Lorca". Tomadas por el propio autor. Años 2011-2012.

"Detalles constructivos". De varios autores y de documentos del terremoto de Lorca.

"Curso Superior de Restauración y Conservación de la Edificación". Año 2012. Universidad Politécnica de Cartagena y Colegios Oficiales de Arquitectos y Arquitectos Técnicos de Murcia.

CURSO "Intervención Técnica en Catástrofes: Estimación y Valoración de Daños" Delegación del Gobierno Región de Murcia. Junio 2005.

"Curso Superior de PATOLOGIA. Restauración y Conservación de Edificios". Año 1995. COAM.

"La rehabilitación de edificios urbanos". Tecnología para la recuperación. Arquitectura/Perspectiva. GG. Año 1988.