

3. Refuerzos a flexión

Mediante la adhesión longitudinal en paramentos traccionados se refuerzan vigas, losas y pilares. El análisis seccional se realiza de acuerdo a las metodologías habituales en hormigón armado:

- Teniendo en cuenta adecuadamente el comportamiento tensión deformación del acero
- Verificándose las condiciones de adhesión entre el Sistema MBrace y hormigón.

El refuerzo se plantea de modo pasivo (por simple adhesión) para secciones armadas y pretensadas. Tecnológicamente el empleo del Sistema MBrace incluye el refuerzo activo, mediante un postesado externo adherido.

Se plantea el equilibrio de las secciones compatibilizando tensiones y deformaciones entre materiales: hormigón, acero y Sistema MBrace

Es habitual no considerar los fenómenos viscoelásticos producidos en la interfase MBrace y hormigón: fluencia y relajación, al ser los espesores aplicados pequeños. Estos fenómenos pueden no ser despreciables en casos especiales: grandes espesores aplicados, y elevadas temperaturas de servicio.



Ilustración 1.- Refuerzo a flexión en forjado unidireccional.



Ilustración 2.- Refuerzo a flexión en forjado reticular bidireccional.

3.1. Filosofía de diseño

El procedimiento general (propuesto por FIB), incluye los siguientes pasos:

- Para el elemento sin reforzar, determinar: flector en servicio y respuesta en rotura.
- Verificación de integridad estructural, ante situación accidental ante pérdida imprevista de colaboración del refuerzo.

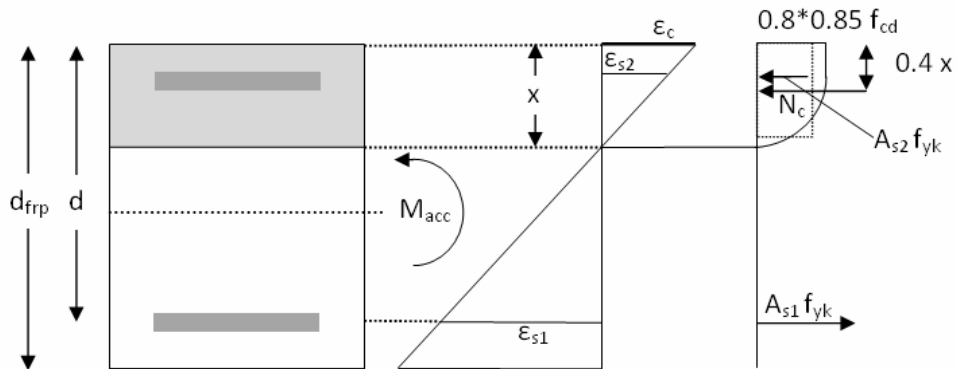


Ilustración 3.- Momento Situación accidental

- Determinación del flector existente en vacío, existente en el momento de realizar el refuerzo.

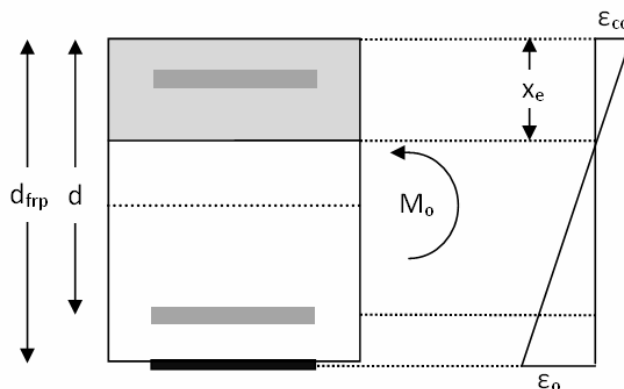


Ilustración 4.- Momento en vacío

- Determinación, asumiendo plena colaboración del refuerzo (sin despegue), de la cuantía de MBrace para cumplir requisitos en rotura (ELU).

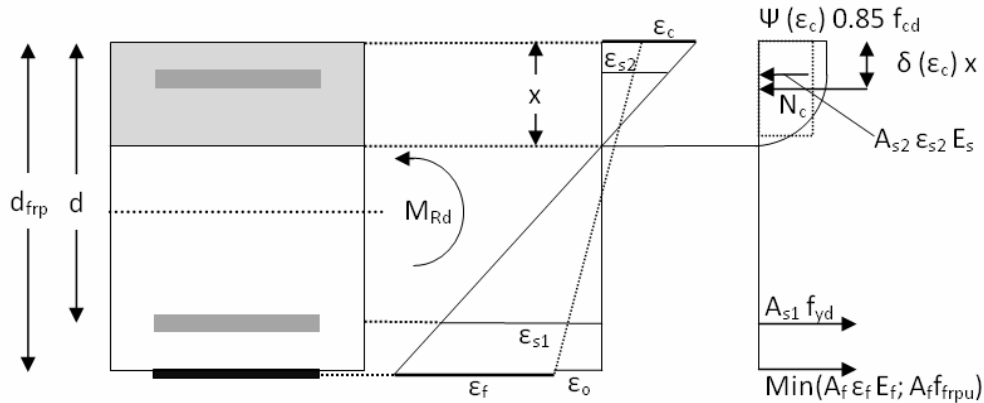


Ilustración 5.- ELU

- Verificación de flechas en ELS. Determinación de la cuantía resistente requerida de resultar insuficiente la dispuesta para control de rotura.
- Cumplimiento de tensiones máximas admisibles en los materiales: hormigón, acero y MBrace en condiciones de servicio.

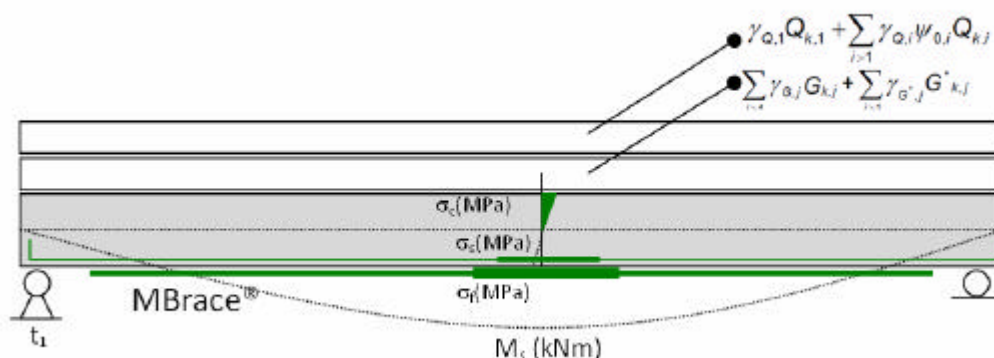


Ilustración 6.- Condiciones de Servicio

- Cumplimiento del ancho de fisura, para la cuantía de MBrace.
- Verificación del anclaje ante despegue por dislocamiento vertical por fisuras a cortante. De no cumplir, aumentar la cuantía dispuesta de MBrace
- Verificación del anclaje ante despegue por arrancamiento en la zona de anclaje y posterior propagación. Disponer dispositivos de anclaje adicionales, mediante hojas transversales, pletinas metálicas, etc.
- Verificación de la respuesta a cortante del elemento en los extremos del refuerzo. Se reforzará la viga a cortante en estos puntos si no cumple.
- Verificación de la necesidad de refuerzo ante otros modos de rotura: cortante, torsión, etc.

3.1.1. Ductilidad

La ductilidad se reduce con el incremento del refuerzo, dada la fragilidad de todos los modos de rotura (por adhesión o agotamiento frágil del material compuesto MBrace). Los modos de rotura por despegue o la fragilidad en agotamiento tensional del material compuesto MBrace, de existir grandes cuantías, no favorecen la existencia de suficiente deformación o curvatura en rotura.

En general se exigirá, en situación de agotamiento, deformaciones mínimas en el acero, garantizando de este modo su plastificación, agrietamiento y aviso de colapso:

$$\epsilon_{suc} > 0.0043$$

$$\epsilon_{suc} > 0.0065$$

hormigones inferiores a C35/45

hormigones superiores a C35/45

Idénticamente, y con el mismo objetivo, se definen deformaciones máximas en hormigón, rangos de profundidad de eje neutro, y curvaturas mínimas.

Los requisitos de cuantía mínima interna de acero, buscan un agotamiento dúctil, en una cuantía superior a la resistencia a tracción del hormigón.

En los refuerzos diseñados ante control de ELS, y dada la poca contribución tensional de los materiales compuestos MBrace ante bajas deformaciones, la

cuantía requerida, puede resultar excesiva ante ELU. En estos casos puede ser difícil cumplir los requisitos de ductilidad.

Las propuestas de la guía de diseño americana ACI 440, idénticamente penalizan la no ductilidad del modo de rotura, esta vez minorando la contribución del refuerzo a 0.7 frente 0.9 original según el grado de deformación del acero plastificado.

3.1.2. Estabilidad estructural

Las recomendaciones se basan en considerar el refuerzo adherido como un refuerzo suplementario o secundario, que de producirse una pérdida inesperada o accidental del refuerzo, las cargas actuantes ante esa situación no provocasen el colapso de la estructura existente.

En general la situación accidental, limitará el incremento máximo de refuerzo asumible mediante la técnica de adhesión externa (incluyéndose chapa y Material Compuesto).

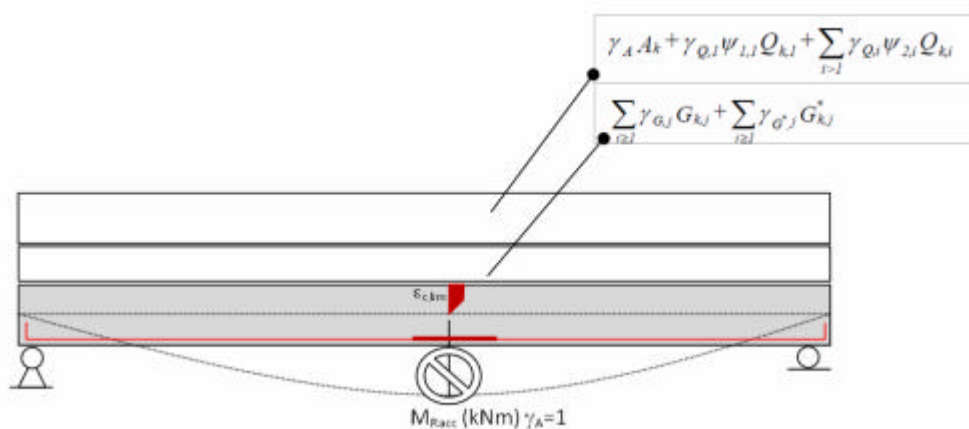


Ilustración 7.- Estabilidad Estructural

En los mapas siguientes se plantean las combinaciones de carga propuestas por EHE para considerar la situación accidental (según sea fuego o no).



Ilustración 8.- Refuerzo a flexión del puente para reparar el daño originado por impacto.



Ilustración 9.- El refuerzo adherido fuera de servicio, de nuevo, por impacto. La estabilidad estructurada estaba garantizada, al contrario hubiera provocado colapso.

3.1.3. Estado de cargas previo

Es preciso conocer la elongación existente en los paramentos traccionados, y en el armado interno, en el momento de evaluar la eficiencia del refuerzo. Esto es especialmente importante en refuerzos para control de ELS, al mermar mucho la deformación y tensión de diseño del Sistema MBrace, para grandes estados de cargas.

En este sentido aparecen las nuevas técnicas del postesado adherido del MBrace, o hay que recurrir a la recuperación de deformaciones mediante gatos.

Habitualmente el flector existente superará el flector de fisuración, y se tendrá en cuenta ε_0 en el acero. A partir de esta elongación entrará en carga el refuerzo. Si el flector M_b no supera el flector de fisuración de la sección se puede despreciar el efecto de la deformación inicial.

El planteamiento es común para todas las guías de diseño, con distinta entrada de cargas, pero asumiendo un comportamiento elástico en todos los materiales, y determinando la elongación en el paramento traccionado.



Ilustración 10.- Jácenas con necesidad de refuerzo por incumplimiento de ELS, y grandes cuantías requeridas de MBrace.



Ilustración 11.- Losa en voladizo con mala ejecución, con pérdida completa de brazo mecánico a negativos. Posteriormente el refuerzo se planteó ante problemas de ELS.

3.1.4. Respuesta en rotura

Los modos de rotura a considerar, dependen si se asume pleno agotamiento del refuerzo o si se considera (en general) pérdida prematura del refuerzo por despegue.

3.1.4.1. Plena colaboración del Sistema MBrace.

De producirse plena contribución del refuerzo hasta rotura, los modos de rotura son los clásicos:

- Plastificación del acero y agotamiento del hormigón.
- Plastificación del acero y rotura del material compuesto MBrace.
- Agotamiento del hormigón: Este tipo de rotura se produce para cuantías de refuerzo importantes y se puede producir antes de la plastificación de la armadura interna, siendo de carácter frágil. Adicionalmente se puede plantear el confinamiento por zunchado del hormigón como medida adicional.

3.1.4.2. Pérdida prematura de colaboración del Sistema MBrace.

La transmisión de esfuerzos se produce de forma exclusiva mediante fenómenos de adherencia química. Los modos de rotura por pérdida de adherencia son:

- Completa: producida de forma global en la interfase hormigón-MBrace
- Parcial: producida de forma localizada en zonas próximas a fisuras.

El despegue se produce por una propagación global de una pérdida de adherencia inicialmente local, y de no existir capacidad de redistribución de esfuerzos, el fenómeno es frágil y violento.

3.1.5. Pérdida de adherencia entre el Sistema MBrace y hormigón.

La pérdida de adherencia se puede producir en distintas localizaciones:

- Despegue en hormigón o interfase débil, por ejemplo agotamiento de un plano débil en la línea de armado por presencia de óxido.
- Despegue por cohesión del adhesivo. En un adhesivo epoxi la adhesión supera la cohesión interna de agotamiento. Esta rotura se puede producir para soportes de muy alta resistencia: granito, acero, aunque no es habitual para hormigón.
- Despegue por mala adhesión, debido a un mal tratamiento o limpieza del hormigón o el laminado MBrace LAMINATE. Esta rotura se evita siguiendo el procedimiento de puesta en obra en pliego de condiciones.
- Rotura interlaminar del laminado MBrace LAMINATE. Debido a la naturaleza compuesta entre fibra y resina, la rotura se puede producir internamente: bien por sobrepasar el umbral de tensiones rasantes asumibles, o por mala configuración del material compuesto ejecutado in situ. Este tipo de rotura es inherente al diseño del material compuesto a adherir, y limita la cuantía máxima de los formatos preformados.



Ilustración 12.- Agotamiento del refuerzo por arrancamiento de hormigón.

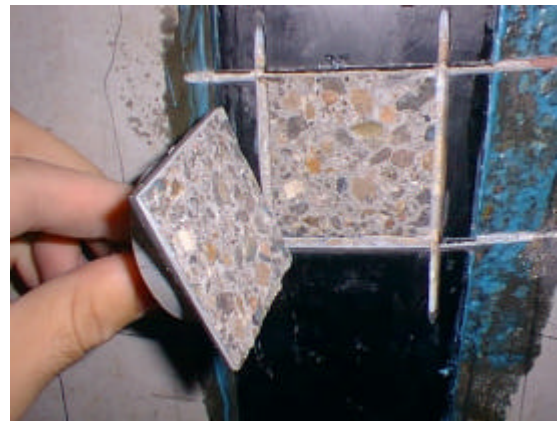


Ilustración 13.- Ensayo de control de calidad para verificar la adherencia perfecta, con arrancamiento del hormigón.



Ilustración 14.- Fallo por cohesión interna del adhesivo en zona de dispositivo de anclaje. Ensayo de sistema de postesado adherido de MBrace LAMINATE



Ilustración 15. Fallo del refuerzo por mala aplicación entre capas sucesivas de adhesivo, por aplicación en temperaturas frías.



Ilustración 16. Fallo por mala aplicación con oclusión de aire y burbujas. Ensayo de control de aplicación.