



7

Capítulo

Conclusiones

7 Conclusiones

A través de los distintos capítulos de los que se compone este trabajo de investigación, se han realizado diversas observaciones, discusiones y comentarios importantes, los cuáles tienen relación directa con los objetivos mencionados al principio de esta tesis. A continuación se hará una recopilación de todas estas consideraciones con el propósito de satisfacer tanto el objetivo general del que parte este estudio, como cada uno de los objetivos específicos.

7.1 Conclusiones Generales

Es evidente que al revisar la recopilación bibliográfica presentada en este trabajo, se manifiesta la ausencia de investigación referente a la utilización de FRPs como refuerzo de estructuras con dovelas, ya que desde el comienzo del uso de estos materiales se observó la baja eficiencia frente a fisuras abiertas y juntas de construcción. Sin embargo, es necesario abordar el tema con profundidad para poder plantear soluciones alternativas que permitan su utilización y poder cuantificar su eficiencia, para poder plantear criterios con bases de diseño mejor fundamentadas.

Aunque la aportación a la resistencia en las estructuras con dovelas de los sistemas de refuerzo de FRP utilizados en este trabajo es menor en comparación con las ganancias reportadas en estructuras monolíticas reforzadas, se pudo constatar que existe una aportación considerable. De cualquier forma, se han reportado en algunos trabajos de investigación fallas prematuras en el sistema de refuerzo en estructuras monolíticas, los cuáles demandan que se profundice en la investigación respecto a algunos mecanismos de falla como es el “peeling”.

Por supuesto, para poder conocer la aportación de los sistemas de refuerzo utilizados en este trabajo y poder utilizarla a conciencia, es necesario cuantificarla, por lo que la realización de ensayos experimentales con modelos reducidos se presenta como una buena alternativa, ya que debido a la gran cantidad de variables que entran en juego en las reparaciones y refuerzo de estructuras de hormigón con FRP, como son: el tipo de fibra, clase de resina, sistema de colocación, preparación de la superficie del soporte y la calidad del hormigón entre otras, los ensayos de adherencia propuestos en este trabajo de investigación se presentan como una buena herramienta de trabajo para cuantificar la

aportación de los FRPs a las estructuras constituidas por dovelas, cuando las condiciones así lo requieran.

7.2 Conclusiones Específicas

Al comparar la deformación de rotura proporcionada por los fabricantes de los materiales utilizados en este estudio igual a 1.3% para ambos [FREYSSINET, 1998; SHERER, 1998], con la deformación de despegue registrada en los ensayos estructurales (0.5% para el TFC y 0.25% para el CFK), se demuestra la limitación tan importante en cuanto al aprovechamiento de la resistencia de los CFRPs utilizados.

Del mismo modo, esta comparación de deformaciones demuestra que no todos los refuerzos de CFRP presentan la misma disminución en eficiencia, ya que mientras el TFC basado en un tejido de CFRP registró un porcentaje de deformación del 38% comparado con su deformación a rotura, el CFK basado en un laminado de CFRP solamente presentó un 19%, por lo que se puede concluir que la utilización de laminados de CFRP para refuerzo de estructuras de dovelas a flexión está limitado en gran medida por su bajo desempeño. De cualquier forma, sería necesario realizar un estudio paramétrico con un número significativo de tipos de laminado para poder validar con seguridad este hecho.

A partir de esto, se llega a la conclusión de que los laminados constituidos por fibra de carbono son más susceptibles al efecto denominado “peeling” en comparación a los tejidos de CFRP, debido a la incapacidad de absorber deformaciones transversales y longitudinales puntuales por tener una rigidez superior que los tejidos de CFRP.

De cualquier forma, en las recomendaciones de diseño de los fabricantes de los productos utilizados, se proponen deformaciones de diseño inferiores a las de rotura. En el TFC se recomienda fijar la tensión de diseño en E.L.S. a un 0.25 de la tensión de rotura, equivalente a una deformación de 0.33%, y en E.L.U. se especifica una tensión de diseño de 1050MPa equivalente a una deformación de 1% [FREYSSINET, 1998]. En el caso del CFK se fija una deformación de diseño de 0.6% para casos desfavorables [SHERER, 1998].

Comparando estas deformaciones con las registradas en los ensayos estructurales se puede observar que el tejido de CFRP alcanzó una deformación superior a la propuesta por el fabricante en E.L.S. (117%), mientras que en E.L.U. solamente alcanzó un 50%. Por otro lado, el laminado de CFRP solamente alcanzó el 32% de la deformación de diseño.

Analizando estos datos se llega a la conclusión de que algunos materiales se pueden utilizar eficientemente empleando las recomendaciones del fabricante para su diseño como refuerzo en este tipo de estructuras en E.L.S., sin embargo, existen otros que presentan una disminución drástica en eficiencia, pudiendo causar problemas muy serios si no se toma en cuenta el fenómeno de despegue en su diseño. Por lo tanto, sería prudente realizar ensayos experimentales para poder cuantificar su aportación real a la estructura.

Por otra parte, se demostró que la concentración de esfuerzos en una junta entre dovelas origina el desprendimiento del sistema de refuerzo debido al efecto denominado “peeling”. Por tanto, se puede concluir que la contribución resistente de los sistemas de refuerzo de CFRP va estrictamente ligada a la adherencia entre el CFRP y el hormigón, dependiendo ésta principalmente de las características del soporte (resistencia a tracción del hormigón), y de la distribución de las tensiones tangenciales en el CFRP, entre otros factores.

Después de realizar el análisis comparativo de los resultados experimentales con el modelo numérico, se pudo apreciar un aumento significativo de rigidez en las vigas de dovelas (48% en el TFC y 96% en el CFK), aunque este incremento se vio limitado por el inicio de despegue del CFRP, ya que si no se hubiera presentado se podrían haber obtenido incrementos mucho mayores. Analizando esto, se puede concluir que es factible la utilización de refuerzos de CFRP para aumentar la rigidez de estructuras de dovelas asegurando no sobrepasar la deformación de despegue del refuerzo.

Debido al aumento de rigidez registrado en las vigas se puede intuir que existe un aumento en la capacidad portante bajo cargas de servicio, sin embargo, en estructuras formadas por dovelas prefabricadas, con juntas secas y pretensado exterior se debe dimensionar para que en la hipótesis de carga más desfavorable, se cumpla el estado

límite de descompresión [ATEP, 1996], por lo que la aportación del CFRP prácticamente no se tomaría en cuenta debido a que la descompresión de las secciones se presenta aproximadamente a los mismos niveles de carga con y sin refuerzo. De cualquier forma, se comprobó por los resultados del modelo numérico que el CFRP se comporta como una barra de acero con adherencia perfecta antes del despegue, por lo que se podría considerar el comportamiento de éste tipo de estructuras al reforzarlas como si existiera armadura pasante en las juntas entre dovelas.

Por otra parte, en la verificación de los estados límites últimos E.L.U., se deberá tomar en cuenta la deformación de despegue de los sistemas de refuerzo de CFRP, por lo tanto, el desarrollo de un método para la determinación de este factor se plantea como una necesidad primordial para su diseño.

Para poder cuantificar la eficiencia de los sistemas de refuerzo de FRP aplicados a estructuras formadas por dovelas, se ha desarrollado un método de análisis basado en modelos reducidos para determinar la deformación de despegue ε_{uf} de los FRPs (punto 6.2.1). Los resultados experimentales mostrados en este documento demuestran la precisión de los ensayos de adherencia para predecir la deformación de despegue del CFRP en este tipo de estructuras. Asimismo, las deformaciones y tensiones de rotura obtenidas en los ensayos de adherencia podrían ser utilizadas en los métodos de diseño tradicionales sustituyéndolos por la deformación y la tensión última del sistema de refuerzo.

No hay que olvidar que una estructura de dovelas es similar a una estructura convencional con fisuras abiertas, por lo que la investigación realizada con las probetas de adherencia podría extrapolarse a estructuras con este tipo de patología, ya que se ha demostrado que en vigas monolíticas reparadas tras rotura, la deformación máxima alcanzada en el CFRP es muy inferior a la propuesta por el fabricante. Como ejemplo, se puede citar el trabajo de investigación realizado por Jorge Salaverría (2002), en donde se utilizó un modelo de puente de sección en cajón de dos vanos, el cuál fue ensayado inicialmente a rotura, para luego ser reparado utilizando un tejido de CFRP (TFC). Después de analizar la información generada en los ensayos, se pudo constatar que la deformación máxima que se presentó en el TFC fue de 0.4%, la cuál es incluso inferior a la presentada en este trabajo de investigación.

7.3 Futuras líneas de Investigación

A lo largo de este trabajo de investigación se han realizado varios comentarios referentes a futuras líneas de investigación que sería interesante desarrollar, dando así continuidad a esta tesis doctoral. A continuación se expondrán brevemente.

Quizá el área de investigación más interesante radica en la búsqueda de nuevos métodos de transferencia de fuerzas entre los sistemas de refuerzo de FRP y el hormigón, ya que como se ha visto a lo largo de este estudio, la forma tradicional de transmitir los esfuerzos de tracción a través de la superficie del hormigón origina en algunas ocasiones ciertos mecanismos de falla poco deseables, los cuales limitan de manera determinante las características mecánicas ventajosas de estos materiales. Por consiguiente, es necesaria la aplicación de cierto tipo de anclajes o métodos alternativos de adherencia los cuales garanticen una completa compatibilidad entre la estructura y los sistemas de refuerzo, aprovechando así íntegramente la resistencia nominal de los FRPs en una amplia gama de tipos de estructuras. Otra solución es la de embeber las bandas de FRP dentro del hormigón tras realizar hendiduras [BARROS et al., 2002]

Por otra parte, sería interesante la realización de un estudio paramétrico con las probetas de adherencia para poder ampliar la perspectiva de dichos ensayos, así como fijar posibles limitaciones de utilización en los mismos.

Otra de las cuestiones surgidas al finalizar este trabajo de investigación consiste en la incertidumbre que existe sobre el comportamiento de las estructuras de dovelas reforzadas con FRPs bajo la acción de cargas dinámicas, por lo que sería interesante realizar un estudio experimental que abarcara dicho tema para conocer la influencia de este tipo de cargas sobre la adherencia de los FRPs en el hormigón.

Por último, no cabe duda que la implementación de estos nuevos sistemas estructurales ha revolucionado la ingeniería estructural, sin embargo, se necesita aún más investigación para conocer a fondo el comportamiento de los mismos.