



Caracterización de uniones material compuesto-hormigón mediante ensayos de pelado, cortadura, tracción plana y torsión

M. J. Mesa, J. Naranjo, M. Macías, R. León, J. Justo, A. Blázquez, F. París, J. Cañas, S. Escriba

Grupo de Elasticidad y Resistencia de Materiales, E.T.S. de Ingeniería,
Universidad de Sevilla, España.
CEMOSA, Málaga, España

RESUMEN

El presente trabajo se centra en el análisis de diferentes ensayos que permiten determinar la calidad de la unión entre laminados de material compuesto y hormigón. Los ensayos considerados han sido: Pull Off (ensayo a tracción), Shear Torsion (ensayo de torsión), Lap Shear (ensayo de cortadura) y Lap Peeling (ensayo de pelado). La fabricación de las probetas se ha llevado a cabo siguiendo tres procedimientos: por apilado e impregnación manual del material compuesto sobre el hormigón, mediante pegado de laminados de material compuesto prefabricados y mediante impregnación in-situ del material compuesto sobre el hormigón a través de técnicas de infusión de resina líquida. Además, dichos ensayos se han realizado sobre probetas de hormigón con dos tratamientos superficiales: amoladora y lija de grano grueso.

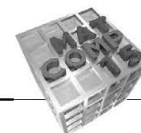
Tras la realización de los ensayos se ha constatado que predomina la rotura por el hormigón sobre roturas adhesivas o cohesivas, lo que indica una buena adhesión entre éste y el material compuesto, para todos los métodos de fabricación de la unión y tratamientos superficiales del hormigón.

PALABRAS CLAVE: Hormigón, material compuesto, unión, adhesión, rotura.

1. INTRODUCCIÓN

Ante la situación de crisis que afronta el sector de la construcción ha surgido una nueva conciencia social basada en la sostenibilidad, donde la rehabilitación estructural está llamada a ocupar el vacío dejado por el sector de la edificación de nueva construcción y la reducción en el número de licitaciones de obra pública.

En este cambio de mentalidad en el sector de la construcción, la priorización del reciclaje, la reutilización, recuperación de material y el uso eficiente de los recursos serán los ejes principales a seguir con el objetivo de incrementar la vida útil de las estructuras. Debido a su bajo peso, sus excelentes propiedades mecánicas y su resistencia a la corrosión, los materiales compuestos encuentran un gran campo de aplicación en la rehabilitación de edificios mediante refuerzos estructurales.



El objetivo de este trabajo consiste en investigar varios factores que pueden influir en la unión entre material compuesto y hormigón. Para ello se han realizado diferentes ensayos experimentales: Lap Peeling, Lap Shear, Pull Off y Shear Torsion.

2. ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DE LA UNIÓN

Con el fin de estudiar la influencia del estado de la superficie del hormigón, los ensayos se han realizado sobre probetas sometidas a dos tratamientos superficiales, uno más agresivo (amoladora) y otro más suave (lija de grano grueso). Además, se han utilizado tres técnicas de fabricación para la unión del material compuesto al hormigón. A continuación se presentan los distintos ensayos realizados. En los Apartados 2.1 y 2.2 se han clasificado según las características de la probeta de ensayo.

2.1 Lap Peeling y Lap Shear

En ambos ensayos la probeta consta de un laminado unidireccional pre-curado de CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastics) adherido a la superficie del hormigón.

El ensayo de Lap Peeling consiste en aplicar una carga perpendicular al laminado de CFRP para determinar la resistencia al pelado de la unión (Figura 1, izquierda). La probeta se coloca en posición horizontal, permitiendo el desplazamiento de la misma (se apoya sobre rodillos), y se tracciona en sentido vertical del laminado, con un útil diseñado ex profeso, hasta producir el despegue total de éste con la superficie del hormigón, como se muestra en la Figura 1 derecha.

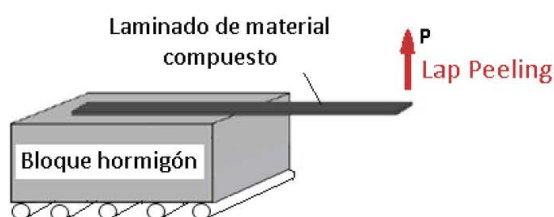


Fig. 1. Esquema y ensayo experimental Lap Peeling

El ensayo de Lap Shear consiste en aplicar una carga en la misma dirección del laminado, caracterizando la resistencia a cortadura de la unión (Figura 2, izquierda). Para ello se coloca la probeta en posición vertical, para permitir la sujeción del laminado con las mordazas de la máquina de ensayo y traccionarlo en su plano, como se observa en la Figura 2 derecha.

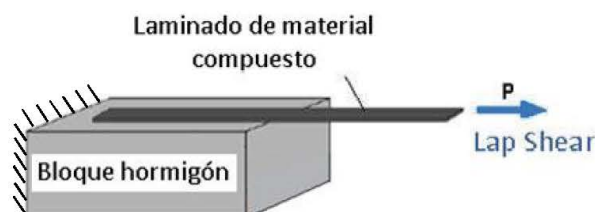


Fig. 2. Esquema y ensayo experimental Lap Shear



2.2 Pull Off y Shear Torsion

La probeta utilizada para ambos ensayos consta de un bloque de hormigón al que se adhiere el material compuesto en toda su superficie. Seguidamente se realiza una trepanación al conjunto y se pega un disco de acero sobre el laminado, que será extraído para determinar la resistencia a tracción o a torsión de la unión entre el material compuesto y el hormigón, según el ensayo. Se han utilizado tres procedimientos de fabricación para dichas probetas: por apilado e impregnación manual del material compuesto sobre el hormigón (hand lay-up in situ), mediante pegado de laminados de material compuesto pre-curados y por infusión de resina líquida.

El ensayo de Pull Off está normalizado y puede encontrarse en la ASTM D4541 [1] y en la Normativa Española UNE-EN 1542-2000 [2]. Este ensayo permite determinar la resistencia a tracción de la unión (Figura 3, izquierda), utilizándose para ello un equipo que posee un bastidor que aplica la carga de tracción mediante la acción de una manivela y una célula de carga pasante que registra la carga. Consta de una pantalla electrónica donde se muestra el valor de la carga de rotura (Figura 3, derecha).

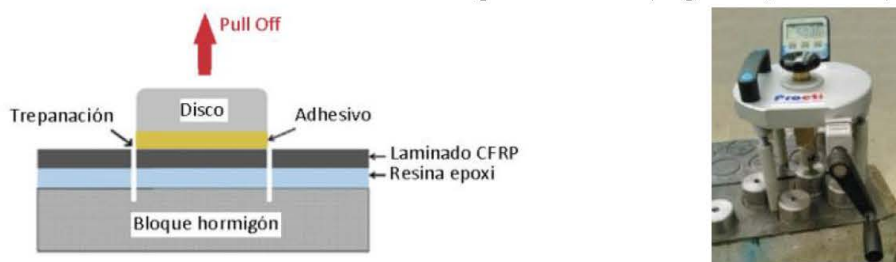


Fig. 3. Esquema y ensayo experimental Pull Off

El ensayo de Shear Torsion permite caracterizar la resistencia a torsión de la unión (Figura 4, izquierda). Para ello se utiliza una llave dinamométrica que posee un sistema de ajuste para controlar el máximo par aplicado. En el ensayo se va aumentando progresivamente dicho par con incrementos de 5 N·m, hasta que se produce el fallo de la unión (Figura 4, derecha). El valor del par último que soporta la probeta estará comprendido entre el que se establece por último en la llave dinamométrica y el de su anterior ajuste.

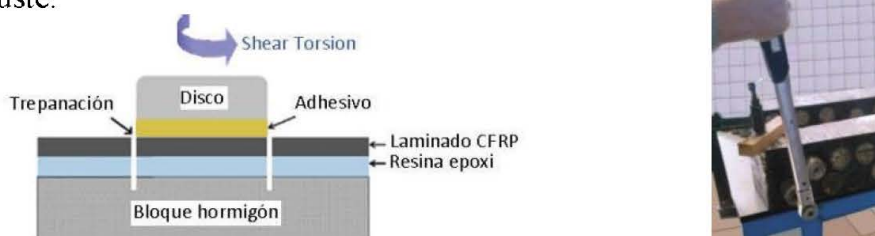
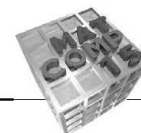


Fig. 4. Esquema y ensayo experimental Shear Torsion

3. RESULTADOS

A continuación se muestran los resultados obtenidos tras ensayar cinco probetas para cada procedimiento de fabricación y tratamiento superficial del hormigón en cada uno de los ensayos. Se presentan los valores obtenidos, así como una curva de carga frente a desplazamiento de cada tipo de ensayo y el tipo de fallo de la unión. Debido a las características de los sistemas utilizados en los ensayos de Pull Off y Shear Torsion, únicamente se han obtenido las cargas de rotura.



3.1 Lap Peeling

En este ensayo se han usado laminados pre-curados, como se ha comentado en el Apartado 2.1. En la Tabla 1 se muestra un resumen con los valores obtenidos, observándose que la carga máxima media es mayor con tratamiento superficial con amoladora, ya que la grieta se encuentra con áridos que tienen que ser arrancados. En el caso del tratamiento con lija de grano grueso, la rotura es más superficial.

Tabla 1. Resumen de los resultados del ensayo Lap Peeling

Tratamiento superficial hormigón	Carga máx. media (N)	Desviación estándar (N)	CV (%)
Amoladora	93,71	11,34	12,10
Lija de grano grueso	60,70	12,29	20,25

Como se observa en la Figura 5, la carga tiene un crecimiento lineal hasta llegar al valor máximo, instante en el que la curva comienza a decaer debido a la propagación de las grietas hasta que se produce el despegue total del laminado de CFRP del hormigón. En cuanto al tipo de fallo, predomina la rotura por el hormigón. Los picos que se encuentran en la curva son debidos a los diferentes tamaños y posiciones de los áridos del hormigón.

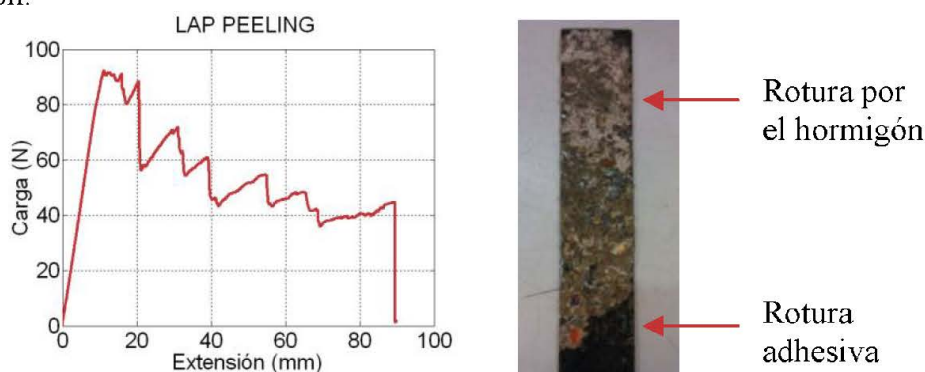


Fig. 5. Curva y rotura del ensayo Lap Peeling

3.2 Lap Shear

Al igual que en el ensayo de Lap Peeling, se han utilizado laminados pre-curados. En la Tabla 2 se muestran los valores numéricos obtenidos, observándose que el tratamiento superficial con amoladora presenta una mayor carga media máxima.

Tabla 2. Resumen de los resultados del ensayo Lap Shear

Tratamiento superficial hormigón	Carga máx. media (N)	Desviación estándar (N)	CV (%)
Amoladora	21631,05	1392,90	6,44
Lija de grano grueso	18431,03	3873,46	21,02

Como se observa en la Figura 6, la carga aumenta de forma casi lineal, con pequeñas oscilaciones debido a las fisuras que van apareciendo. Cuando se alcanza la carga máxima, se produce el fallo total de la unión. Predomina la rotura por el hormigón, aunque hay zonas de fallo adhesivo, ya que el laminado de material compuesto pre-curado no puede adaptarse a las irregularidades de la superficie del hormigón, lo que impide la correcta adhesión entre ambos materiales.

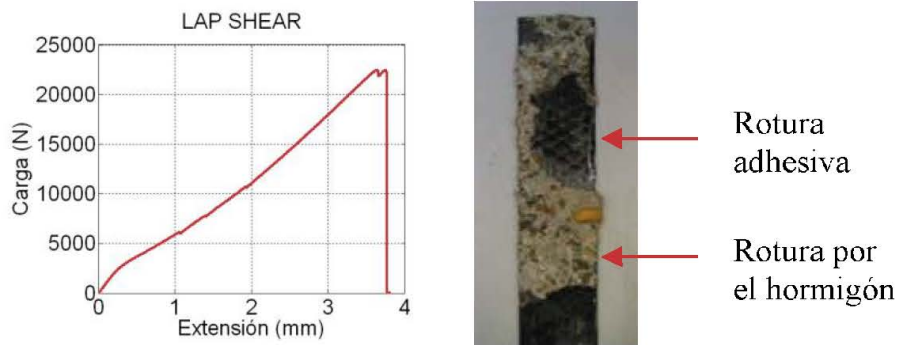


Fig. 6. Curva y rotura del ensayo Lap Shear

3.3 Pull Off

En la Tabla 3 se muestra un resumen con los valores medios obtenidos. Se aprecia que el coeficiente de variación es elevado en el tratamiento superficial con amoladora, debido a que los discos se han ensayado en caras laterales del bloque de hormigón. Se ha observado que en la zona cercana a la cara libre del encofrado de la cara lateral del bloque, la mezcla presenta más heterogeneidad en su composición que en la zona cercana a la cara inferior, lo que provoca una mayor dispersión en los resultados y que la probeta soporte menos carga.

Tabla 3. Resumen de los resultados del ensayo Pull Off

Tratamiento superficial hormigón	Procedimiento de fabricación					
	Pre-curado		Hand lay-up		Infusión	
	Carga máx media (N)	CV (%)	Carga máx. media (N)	CV (%)	Carga máx. media (N)	CV (%)
Amoladora	4969	36,83	4125	43,79	7148	16,96
Lija de grano grueso	5121	16,67	7621	12,25	6630	17,96

En los tres procedimientos de fabricación de la probeta de ensayo, la rotura se ha producido en su totalidad por el hormigón, como se observa en la Figura 7.



Fig. 7. Rotura del ensayo Pull Off

3.4 Shear Torsion

En la tabla 4 se muestra un resumen con los valores medios obtenidos. Todos los discos han sido ensayados en la cara lateral del bloque de hormigón en la zona próxima a la cara inferior, por lo que no hay demasiada dispersión de los valores obtenidos.

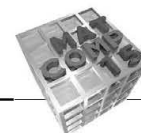


Tabla 4. Resumen de los resultados del ensayo Shear Torsion

Tratamiento superficial hormigón	Procedimiento de fabricación					
	Pre-curado		Hand lay-up		Infusión	
	Torsor medio (N [•] m)	CV (%)	Torsor medio (N [•] m)	CV (%)	Torsor medio (N [•] m)	CV (%)
Amoladora	107	7,38	119	8,82	111	14,32
Lija de grano grueso	133	8,44	101	15,24	136	23,60

En los tres procedimientos de fabricación predomina la rotura por el hormigón, como se observa en la Figura 8.

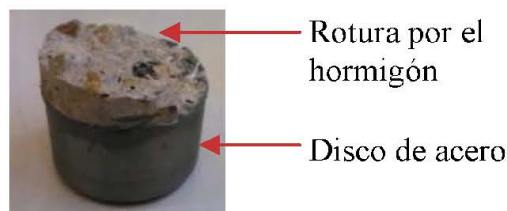


Fig. 8. Rotura del ensayo Shear Torsion

4. CONCLUSIONES

Se han realizado cuatro tipos de ensayos para caracterizar la unión entre laminados de material compuesto y hormigón. Tras el análisis de los mismos, se ha constatado que la unión entre material compuesto y hormigón siempre ha fallado por el hormigón. Además, el tratamiento superficial del hormigón también influye en la adhesión de éste con el material compuesto, observándose mejores resultados en tratamientos más agresivos, como es el caso de la amoladora. En cuanto al procedimiento de ejecución del refuerzo de material compuesto en la probeta de ensayo, son preferibles las técnicas de hand lay-up in situ e infusión, ya que el laminado de material compuesto pre-curado presenta mayor dificultad para adaptarse a las irregularidades de la superficie del hormigón.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el Centro para el Desarrollo Tecnológico e Industrial (CDTI) y cofinanciado con Fondos Europeos de Desarrollo Regional (FEDER), dentro del marco del Programa Feder-Innterconecta 2013, a través del proyecto 'Nuevas Tecnologías de Refuerzo con Materiales Compuestos-NUREMCO' (ITC-20131020). Se desea agradecer especialmente la colaboración de la empresa CEMOSA.

REFERENCIAS

1. «ASTM D4541. Standard Test Method for Pull Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers» 2009.
2. «UNE-EN 1542-2000. Productos y sistemas para la protección y reparación de estructuras de hormigón» 2000.