

....

GUIA PARA LA REPARACION Y EL REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL MEDIANTE MATERIALES COMPUESTOS DE EDIFICIOS DE HORMIGON ARMADO (H.A.) Y MAMPOSTERIA AFECTADOS POR EL TERREMOTO.



Octubre 2016

TABLA DE CONTENIDO

Pág.

1	OBJETIVO Y ORGANIZACIÓN DE LA GUIA.....	6
2	INTRODUCCION	7
2.1	ASPECTOS SÍSMICOS	7
2.2	NECESIDAD DE REPARACION Y REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL.....	8
2.2.1	<i>Daños en estructuras afectadas por los eventos sísmicos</i>	<i>10</i>
2.2.2	<i>Daños en estructuras afectadas por eventos sísmicos en otras partes del mundo</i>	<i>14</i>
2.3	TIPOS DE INTERVENCION INCLUIDOS EN ESTA GUIA.....	17
3	REFORZAMIENTO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES	18
3.1	ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO.....	18
3.1.1	<i>Criterios para el reforzamiento local de nudos no confinados</i>	<i>18</i>
3.1.2	<i>Indicaciones para la reparación y preparación de los sustratos.....</i>	<i>24</i>
3.1.3	<i>Procedimiento para el reforzamiento con materiales compuestos reforzados con fibras</i>	<i>27</i>
3.1.4	<i>Características técnicas de las principales fibras utilizadas:</i>	<i>28</i>
3.1.5	<i>Procedimiento para la aplicación de fibras de carbono</i>	<i>30</i>
3.1.6	<i>Procedimiento para la aplicación de láminas de fibra de carbono CFK pultruidas</i>	<i>37</i>
3.1.7	<i>Procedimiento para la aplicación de fibras unidireccionales de acero UHTSS de alta resistencia..</i>	<i>41</i>
3.2	DAÑOS EN MUROS	45
3.2.1	<i>Inyección de la fisura.....</i>	<i>45</i>
3.2.2	<i>Aplicación de la malla de refuerzo.....</i>	<i>47</i>
3.3	REFORZAMIENTO LOCAL PARA CARGAS VERTICALES.....	49
3.3.1	<i>Vigas y placas de hormigón armado.....</i>	<i>49</i>
4	INTERVENCION EN MUROS DE FACHADA Y DIVISORIOS	57
4.1	MUROS DE FACHADA Y DIVISORIOS.....	57
4.1.1	<i>Conexión de muros perimetrales a vigas y columnas</i>	<i>57</i>
4.1.2	<i>Procedimiento para la conexión perimetral a losas y columnas.....</i>	<i>61</i>
4.2	REFORZAMIENTO DE MUROS	66
4.2.2	<i>Procedimiento para el reforzamiento de muros con mallas y mortero</i>	<i>67</i>
5	ANCLAJES Y CONECTORES PARA MATERIALES COMPUESTOS	72
5.1	SISTEMAS DE ANCLAJES	72
5.1.1	<i>Franjas FRP-SRP.....</i>	<i>72</i>
5.1.2	<i>Conectores en abanico.....</i>	<i>72</i>
5.1.3	<i>Barras con terminación en abanico</i>	<i>74</i>
5.1.4	<i>Barras pultruidas en fibra y elementos helicoidales en acero inoxidable</i>	<i>76</i>
5.1.5	<i>Placas y ángulos de acero y aluminio.....</i>	<i>78</i>
6	PRUEBAS DE ACEPTACION PARA LOS TRABAJOS DE REFORZAMIENTO FRP-SRP	80
6.1	PRUEBAS DE ACEPTACIÓN DEL SISTEMA FRP -SRP	80
6.2	6.2. PRUEBAS PARA VERIFICACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS TRABAJOS.....	81
7	PROTECCION AL FUEGO.....	84
8	NORMAS TÉCNICAS.....	85
9	GRUPO DE TRABAJO	86
10	LISTA DE APENDICES	87

LISTA DE TABLAS

	Pág.
TABLA 3.1. PROPIEDADES DE RESINAS PARA REPARACIONES DE GRIETAS.	25
TABLA 3.2. PROPIEDADES DE MORTEROS PARA LA REPARACIÓN DE RECUBRIMIENTOS DE CONCRETO.	26
TABLA 3.3. PROPIEDADES DE MORTEROS PARA LA REPARACIÓN DE RECUBRIMIENTOS DE CONCRETO.	26
TABLA 3.4. PROPIEDADES DE MORTEROS PARA LA REPARACIÓN DE HORMIGÓN EN FORMALETA	27
TABLA 3.5. PROPIEDADES DE FIBRAS UNIDIRECCIONALES DE CARBONO U CON ALTA RESISTENCIA (CFRP)	28
TABLA 3.6. PROPIEDADES DE FIBRAS UNIDIRECCIONALES DE CARBONO U CON ALTO MODULO (CFRP)	28
TABLA 3.7. PROPIEDADES DE FIBRAS BIDIRECCIONALES DE CARBONO U CON ALTA RESISTENCIA (CFRP)	29
TABLA 3.8. PROPIEDADES DE FIBRAS CUADRIAXIALES DE CARBONO Q CON ALTA RESISTENCIA (CFRP)	29
TABLA 3.9. PROPIEDADES DE LÁMINAS DE CARBONO CFK PULTRUIDAS (CFRP)	29
TABLA 3.10. PROPIEDADES DE FIBRAS UNIDIRECCIONALES DE ACERO UHTSS LATONADO (SRP)	29
TABLA 3.11. PROPIEDADES DE FIBRAS UNIDIRECCIONALES DE ACERO UHTSS GALVANIZADO (SRP)	30
TABLA 5.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS CONECTORES EN ABANICO.	73
TABLA 5.2. CARACTERÍSTICAS DE BARRAS DE BASALTO Y CARBONO.	75
TABLA 5.3. CARACTERÍSTICAS DE BARRAS HELICOIDALES.	76
TABLA 6.1. PRUEBAS DE ADHERENCIA (PULL OFF) DE 5 MUESTRAS, 4 CON ROTURA COHESIVA (A) Y UNA EN LA INTERFAZ (A/B).	83

LISTA DE FIGURAS

Pág.

FIGURA 2.1. MAPA DE RIESGO SÍSMICO MUNDIAL	7
FIGURA 2.2. EFECTO DEL SUELO EN LA RESPUESTA SÍSMICA DE LAS ESTRUCTURAS	7
FIGURA 2.3. VISTA GENERAL DE DAÑOS.....	10
FIGURA 2.4. INADECUADA CALIDAD DEL HORMIGÓN	10
FIGURA 2.5. VOLCAMIENTO DE MUROS DE FACHADA.....	11
FIGURA 2.6. COLAPSO POR EXCESIVA DEFORMABILIDAD DE PISOS INTERMEDIOS	11
FIGURA 2.7. COLAPSO POR EFECTO TORSIONAL DE ESQUINA	11
FIGURA 2.8. COLAPSO/DAÑOS DE MUROS DE FACHADA (A).	12
FIGURA 2.9. COLAPSO/DAÑOS DE MUROS DE FACHADA (B).	12
FIGURA 2.10. COLAPSO POR DAÑOS EN NUDOS VIGA-COLUMNA	13
FIGURA 2.11. DAÑOS PRODUCIDOS POR BAJA DUCTILIDAD DE LA ESTRUCTURA Y COLAPSO DE MUROS DE FACHADA	13
FIGURA 2.12. DAÑOS EN NUDOS VIGA-COLUMNA.	14
FIGURA 2.13. A) COLUMNA CORTA; B) DAÑOS EN LA MITAD DE LA LUZ DE VIGAS.	14
FIGURA 2.14. A) DAÑOS EN EDIFICACIONES DE MAMPOSTERÍA; B) DAÑOS POR SEPARACIÓN DEL CORDÓN SUPERIOR DE MUROS DE FACHADA.....	15
FIGURA 2.15. SEPARACIÓN DE MUROS DE LOS PÓRTICOS DE HORMIGÓN.	15
FIGURA 2.16. CAÍDA DE MUROS DE FACHADA Y REVESTIMIENTOS.	15
FIGURA 2.17. A) DAÑOS EN EDIFICACIONES DE MAMPOSTERÍA; B) COLAPSO DE MUROS DE FACHADA; C) DAÑOS POR FUERZAS CORTANTES.	16
FIGURA 2.18. A) COLAPSO POR FORMACIÓN DE ROTULAS PLÁSTICAS; B) COLAPSO DE MUROS DE FACHADA	16
FIGURA 2.19. DAÑOS EN MUROS DIVISORIOS Y VOLCAMIENTO DEL REVESTIMIENTO	16
FIGURA 2.20. COLAPSO DE CUBIERTA DEBIDO A CONEXIONES INADECUADAS	17
FIGURA 3.1. REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL MECANISMO DE ROTURA EN UN NUDO VIGA-COLUMNA DEBIDO A LAS FUERZAS CORTANTES PROVENIENTES DE LOS MUROS: A) FISURA DIAGONAL EN EL NUDO; B) FISURA CASI HORIZONTAL EN LA JUNTA NUDO-COLUMNA.....	18
FIGURA 3.2. FRANJAS DIAGONALES CON TEJIDO EN ACERO UNIDIRECCIONAL APLICADAS EN UN NUDO DE ESQUINA: (A) NUDO CON DOS VIGAS DE ALTURA DIFERENTE AL ESPESOR DE LA PLACA; (B) NUDO CON VIGAS DE ALTURA IGUAL Y DIFERENTE A LA PLACA.....	19
FIGURA 3.3. FRANJAS DE CARBONO EN “L” EN LA INTERSECCIÓN DE LA VIGA Y LA COLUMNA EN UN NUDO DE ESQUINA: (A) NUDO CON DOS VIGAS DE ALTURA DIFERENTE AL ESPESOR DE LA PLACA; (B) NUDO CON VIGAS DE ALTURA IGUAL Y DIFERENTE A LA PLACA.....	19
FIGURA 3.4. REFORZAMIENTO CON TEJIDO EN ACERO UNIDIRECCIONAL PARA UN NUDO INTERMEDIO: (A) VISTA EXTERNA; (B) VISTA INTERNA.....	20
FIGURA 3.5. TEJIDO CUADRIAXIAL EN FIBRA DE CARBONO PARA NUDO DE ESQUINA: (A) NUDO CON DOS VIGAS DE ALTURA DIFERENTE AL ESPESOR DE LA PLACA; (B) NUDO CON DOS VIGAS DE ALTURA IGUAL Y DIFERENTE A LA PLACA DE PISO (NÓTESE QUE EL TEJIDO CUADRIAXIAL DEBE COLOCARSE TAMBIÉN EN EL LADO INTERNO DE LA VIGA, NO VISIBLE EN EL ESQUEMA (B)).	20
FIGURA 3.6. TEJIDO CUADRIAXIAL DE CARBONO EN UN NUDO INTERMEDIO.....	21
FIGURA 3.7. CONFINAMIENTO DE COLUMNAS EN UN NUDO DE ESQUINA: (A) NUDO CON DOS VIGAS DE ALTURA DIFERENTE AL ESPESOR DE LA PLACA; (B) NUDO CON DOS VIGAS DE ALTURA IGUAL Y DIFERENTE A LA PLACA DE PISO	22
FIGURA 3.8. CONFINAMIENTO DE COLUMNAS EN UN NUDO INTERMEDIO	22
FIGURA 3.9. REFORZAMIENTO A CORTANTE CON CONFIGURACIÓN EN “U” PARA LOS EXTREMOS DE VIGAS EN UN NUDO DE ESQUINA: (A) NUDO CON DOS VIGAS DE ALTURA DIFERENTE AL ESPESOR DE LA PLACA; (B) NUDO CON DOS VIGAS DE ALTURA IGUAL Y DIFERENTE A LA PLACA DE PISO	23
FIGURA 3.10. REFORZAMIENTO A CORTANTE CON CONFIGURACIÓN EN “U” PARA LOS EXTREMOS DE VIGAS EN UN NUDO INTERMEDIO	23
FIGURA 3.11. REFORZAMIENTO DE NUDOS VIGA-COLUMNA.	24
FIGURA 3.12. PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DE FIBRAS DE CARBONO: PASOS 1 Y 2.	30
FIGURA 3.13. PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DE FIBRAS DE CARBONO: PASO 3.	31
FIGURA 3.14. PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DE FIBRAS DE CARBONO: PASO 4.	31

FIGURA 3.15. PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DE FIBRAS DE CARBONO: PASO 5.	32
FIGURA 3.16. PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DE FIBRAS DE CARBONO: PASOS 6 Y 7.	32
FIGURA 3.17. PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DE FIBRAS DE CARBONO: PASOS 8 Y 9.	33
FIGURA 3.18. PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DE FIBRAS DE CARBONO: PASO 10.	33
FIGURA 3.19. PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DE FIBRAS DE CARBONO: PASO 11.	34
FIGURA 3.20. PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DE FIBRAS DE CARBONO: PASOS 12 A 16.	35
FIGURA 3.21. SECUENCIA DE APLICACIÓN DE FIBRAS EN UN NUDO VIGA COLUMNA: A) Y B) APLICACIÓN DE TEJIDO CUADRIAXIAL EN EL NUDO, VIGAS Y COLUMNAS; C) REFORZAMIENTO DE VIGAS CON FIBRAS UNIDIRECCIONALES; D) CONFINAMIENTO DE COLUMNAS CON FIBRAS UNIDIRECCIONALES.	36
FIGURA 3.22. CONFINAMIENTO DE COLUMNAS.	37
FIGURA 3.23. REFORZAMIENTO DE NUDOS, VIGAS Y CONFINAMIENTO DE COLUMNAS.	37
FIGURA 3.24. PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DE LÁMINAS DE FIBRA DE CARBONO CFK: PASO 10.	39
FIGURA 3.25. PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DE LÁMINAS DE FIBRA DE CARBONO CFK: PASO 11.	39
FIGURA 3.26. PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DE LÁMINAS DE FIBRA DE CARBONO CFK: PASO 12.	39
FIGURA 3.27. PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DE LÁMINAS DE FIBRA DE CARBONO CFK: PASO 13.	40
FIGURA 3.28. PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DE LÁMINAS DE FIBRA DE CARBONO CFK: ACABADO.	40
FIGURA 3.29. ESTRUCTURAS REFORZADAS CON LÁMINAS DE FIBRA DE CARBONO CFK.	41
FIGURA 3.30. PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DE FIBRAS UNIDIRECCIONALES DE ACERO UHTSS: PASO 10.	43
FIGURA 3.31. PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DE FIBRAS UNIDIRECCIONALES DE ACERO UHTSS: PASO 11.	43
FIGURA 3.32. PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DE FIBRAS UNIDIRECCIONALES DE ACERO UHTSS: PASO 12.	44
FIGURA 3.33. PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DE FIBRAS UNIDIRECCIONALES DE ACERO UHTSS: PASO 13.	44
FIGURA 3.34. INYECCIÓN DE LA FISURA: A) VISTA EN ALTURA; B) SECCIÓN TRANSVERSAL.	46
FIGURA 3.35. APLICACIÓN DE LA MALLA DE REFUERZO: A) VISTA EN ALTURA; B) SECCIÓN TRANSVERSAL DE UNA FISURA NO PASANTE; C) SECCIÓN TRANSVERSAL DE UNA FISURA PASANTE.	48
FIGURA 3.36. APLICACIÓN DE LA MALLA DE REFUERZO: PASO 2.	48
FIGURA 3.37. APLICACIÓN DE LA MALLA DE REFUERZO: PASO 4.	49
FIGURA 3.38. APLICACIÓN DE LA MALLA DE REFUERZO: PASO 5.	49
FIGURA 3.39. REFORZAMIENTO A FLEXIÓN CON MATERIALES COMPUESTOS CFRP O SRP DE UNA VIGA DE HORMIGÓN ARMADO CON ANCLAJE EN LOS EXTREMOS: A) SECCIÓN LONGITUDINAL; B) SECCIÓN A-A; C) SECCIÓN C-C.	50
FIGURA 3.40. REFORZAMIENTO A CORTANTE DISCONTINUO DE UNA VIGA DE HORMIGÓN ARMADO PERIMETRAL CON MATERIALES COMPUESTOS CFRP O SRP.	51
FIGURA 3.41. REFORZAMIENTO A CORTANTE DISCONTINUO DE UNA VIGA DE HORMIGÓN ARMADO INTERNA CON MATERIALES COMPUESTOS CFRP O SRP, SIN ANCLAJE.	51
FIGURA 3.42. REFORZAMIENTO A CORTANTE DISCONTINUO DE UNA VIGA DE HORMIGÓN SIN ANCLAJE.	51
FIGURA 3.43. REFORZAMIENTO A CORTANTE DISCONTINUO DE UNA VIGA DE HORMIGÓN ARMADO INTERNA CON MATERIALES COMPUESTOS CFRP O SRP, CON DOS TIPOLOGÍAS DE ANCLAJE: A) VISTA LONGITUDINAL; B) CONECTORES EN ABANICO; C) FRANJAS PASANTES CON TRASLAPO DE AL MENOS 20 CM EN LA PARTE SUPERIOR DE LAS VIGAS.	52
FIGURA 3.44. REFORZAMIENTO A CORTANTE UNA VIGA DE HORMIGÓN ARMADO: A) CONECTORES EN ABANICO; B) FRANJAS PASANTES EN LA PARTE SUPERIOR DE LAS VIGAS.	52
FIGURA 3.45. REFORZAMIENTO A CORTANTE CONTINUO DE UNA VIGA DE HORMIGÓN ARMADO INTERNA CON MATERIALES COMPUESTOS CFRP O SRP, CON DOS TIPOLOGÍAS DE ANCLAJE: A) VISTA LONGITUDINAL; B) CONECTORES DE FIBRA EN ABANICO; C) ELEMENTOS ANGULARES METÁLICOS EN LA PARTE INFERIOR DE LA PLACA.	52
FIGURA 3.46. REFORZAMIENTO A FLEXIÓN CON MATERIALES COMPUESTOS DE UNA PLACA CON VIGUETAS: SECCIÓN LONGITUDINAL.	53
FIGURA 3.47. REFORZAMIENTO A FLEXIÓN CON MATERIALES COMPUESTOS DE PLACAS MIXTAS CON VIGUETAS: SECCIÓN TRANSVERSAL Y DETALLES.	53
FIGURA 3.48. REFORZAMIENTO A FLEXIÓN CON MATERIALES COMPUESTOS DE UNA PLACA CON VIGUETAS: SECCIÓN TRANSVERSAL.	53
FIGURA 3.49. REFORZAMIENTO A FLEXIÓN DE PLACAS DE HORMIGÓN ARMADO.	54
FIGURA 3.50. REFORZAMIENTO Y RIGIDIZACIÓN SUPERIOR DE PLACAS CON FIBRA DE VIDRIO.	54
FIGURA 3.51. REFORZAMIENTO Y RIGIDIZACIÓN SUPERIOR DE PLACAS CON FIBRA DE VIDRIO.	54

FIGURA 3.52. APLICACIÓN DE FRANJAS DE CFRP O SRP EN LOSAS DE HORMIGÓN, ANCLADAS A LOS MUROS PERIMETRALES.....	56
FIGURA 4.1. ESQUEMA DE CONEXIÓN PARA ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES.....	57
FIGURA 4.2. CONEXIÓN DE MUROS PERIMETRALES A VIGAS Y COLUMNAS: PASO 1.	57
FIGURA 4.3. CONEXIÓN DE MUROS PERIMETRALES A VIGAS Y COLUMNAS: PASO 2.	58
FIGURA 4.4. CONEXIÓN DE MUROS PERIMETRALES A VIGAS Y COLUMNAS: PASO 3.	58
FIGURA 4.5. CONEXIÓN DE MUROS PERIMETRALES A VIGAS Y COLUMNAS: PASO 4.	59
FIGURA 4.6. CONEXIÓN DE MUROS PERIMETRALES A VIGAS Y COLUMNAS: PASO 5.	59
FIGURA 4.7. CONEXIÓN DE MUROS PERIMETRALES A VIGAS Y COLUMNAS: PASO 6.	60
FIGURA 4.8. CONEXIÓN PERIMETRAL A PLACAS Y COLUMNAS: PASO 1. A) VISTA TRIDIMENSIONAL; B) SECCIÓN TRANSVERSAL.....	62
FIGURA 4.9. CONEXIÓN PERIMETRAL A PLACAS Y COLUMNAS: PASO 2.	62
FIGURA 4.10. CONEXIÓN PERIMETRAL A PLACAS Y COLUMNAS (VISTA TRIDIMENSIONAL): PASO 3.	63
FIGURA 4.11. CONEXIÓN PERIMETRAL A PLACAS Y COLUMNAS (VISTA TRIDIMENSIONAL): PASO 4.	63
FIGURA 4.12. CONEXIÓN PERIMETRAL A PLACAS Y COLUMNAS (VISTA TRIDIMENSIONAL): PASO 5.	63
FIGURA 4.13. CONEXIONES PERIMETRALES A COLUMNAS Y VIGAS CON ESPESOR IGUAL A LA PLACA DE PISO: PASO 1. ..	64
FIGURA 4.14. CONEXIONES PERIMETRALES A COLUMNAS Y VIGAS CON ESPESOR IGUAL A LA PLACA DE PISO: PASO 3A. ..	64
FIGURA 4.15. CONEXIONES PERIMETRALES A COLUMNAS Y VIGAS CON ESPESOR IGUAL A LA PLACA DE PISO: PASO 3B. ..	65
FIGURA 4.16. CONEXIONES PERIMETRALES A COLUMNAS Y VIGAS CON ESPESOR IGUAL A LA PLACA DE PISO: PASO 4. ..	65
FIGURA 4.17. CONEXIONES PERIMETRALES A COLUMNAS Y VIGAS CON ESPESOR IGUAL A LA PLACA DE PISO: PASO 5. ..	66
FIGURA 4.18. REFORZAMIENTO DE MUROS PORTANTES Y NO ESTRUCTURALES INTERNOS O EXTERNOS.....	66
FIGURA 4.19. INTERVENCIÓN CON MALLAS DE FIBRA DE VIDRIO AR, MORTEROS Y CONECTORES DE FIBRA DE VIDRIO. ..	69
FIGURA 4.20. INTERVENCIÓN CON MALLAS DE CARBONO, MORTEROS Y CONECTORES EN ARAMIDA O ACERO UHTSS. ..	69
FIGURA 4.22. INTERVENCIÓN CON MALLAS DE ACERO GALVANIZADO UHTSS, MORTERO Y CONECTORES EN ACERO UHTSS.....	70
FIGURA 4.21. REFORZAMIENTO DE MUROS CON CONECTORES	71
FIGURA 5.1. USO DE FRANJAS FRP/SRP PARA ANCLAJE DEL REFORZAMIENTO A FLEXIÓN EN VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO.	72
FIGURA 5.2. TIPOS DE CONECTORES: A) ARAMIDA; B) VIDRIO; C) ACERO UHTSS	73
FIGURA 5.3. APLICACIÓN DE CONECTORES EN ABANICO.	74
FIGURA 5.4. TIPOS DE BARRAS	75
FIGURA 5.5. FASES DE INTERVENCIÓN.	75
FIGURA 5.6. BARRAS HELICOIDALES.	76
FIGURA 5.7. PRUEBA DE EXTRACCIÓN DE LA BARRA HELICOIDAL DE DIÁMETRO 8-10 MM.....	77
FIGURA 5.8. PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DE BARRAS HELICOIDALES.	77
FIGURA 5.9. EJEMPLOS DE PLACAS DE ACERO O DE ALUMINIO Y PERFILES ANGULARES.	78
FIGURA 5.10. SECUENCIA DE INTERVENCIÓN PARA LAS PLACAS DE ENCAJE PARA LÁMINAS DE CARBONO CFK	79
FIGURA 5.11. OTRAS TIPOLOGÍAS DE PLACAS PARA PLATINAS CFK EN CARBONO	79
FIGURA 6.1. MUESTRAS PARA LAS PRUEBAS.....	80
FIGURA 6.2. PRUEBA DE TRACCIÓN.	81
FIGURA 6.3. COLOCACIÓN DE LAS MUESTRAS DE PRUEBA	81
FIGURA 6.4. FRESADO Y CORTE DEL REFUERZO CON INCISIÓN EN EL SUBSTRATO > 2 MM	82
FIGURA 6.5. COLOCACIÓN DEL EXTRACTOR PARA LA PRUEBA.....	82
FIGURA 6.6. EXTRACCIÓN DE MUESTRAS DE PRUEBA.....	82
FIGURA 6.7. MUESTRAS EXTRAÍDAS CON ROTURA DEL SUBSTRATO.....	83

1 OBJETIVO Y ORGANIZACIÓN DE LA GUIA

Esta guía se ha elaborado con el objetivo de brindar apoyo en el diseño y ejecución de intervenciones en las instalaciones civiles, publicas e industriales afectadas por los terremotos de América Central y del Sur.

En los capítulos siguientes se presentan los criterios y directrices para la aplicación de intervenciones de reparación y reforzamiento de elementos estructurales y no estructurales utilizando materiales compuestos principalmente. Se incluye también un capítulo dedicado a los sistemas de anclaje de los materiales de reforzamiento y otro enfocado a las pruebas necesarias para verificar la correcta ejecución de las obras. Se pone particular atención a la descripción de los métodos de aplicación de las técnicas de reforzamiento por medio de materiales compuestos reforzados con fibras ya que su ejecución es esencial para su adecuado desempeño y al momento los ingenieros estructurales poseen un conocimiento limitado sobre las mismas.

Finalmente, se resalta que las estructuras estudiadas en esta guía corresponden a los tipos de mayor uso en America Central y del Sur particularmente estructuras de hormigón armado y mampostería. Este documento ha sido preparado por un grupo de trabajo integrado por profesores universitarios y profesionales de la ingeniería con amplia experiencia en este campo. La lista de participantes del grupo de trabajo puede consultarse en el capítulo 9 .

2 INTRODUCCION

2.1 ASPECTOS SÍSMICOS

A continuación se presenta un mapa del riesgo sísmico mundial en el cual es posible verificar que Chile, Ecuador, Perú, Colombia, México, America Central se encuentra localizado en una área de alto riesgo sísmico (zonas de color rojo en el mapa, ver Figura 2.1).

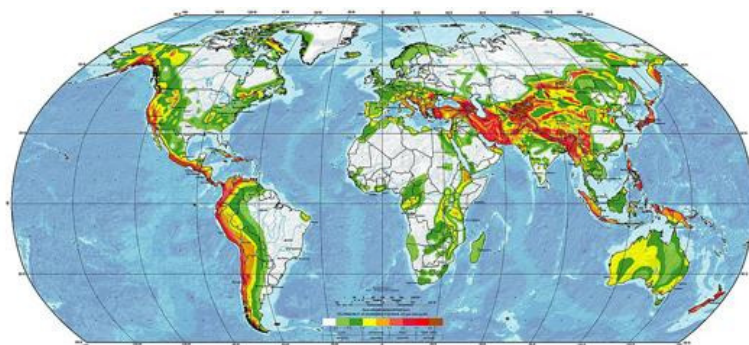


Figura 2.1. Mapa de riesgo sísmico mundial

En general, la componente vertical de aceleración es absorbida adecuadamente por la estructura dado que es similar a la calculada para cargas verticales, al menos para todos los edificios diseñados hasta los años 80. Al contrario, la componente horizontal de aceleración genera problemas y daños importantes a las estructuras que no han sido proyectadas y diseñadas para soportar dichas acciones dinámicas. Con relación a los efectos de la jerarquía de capacidad estructural, debe también decirse que frente a las acciones sísmicas, la falla de los elementos horizontales está relacionada principalmente con daños localizados y no con el colapso de la estructura. Por su parte, el daño de los elementos verticales, en función de la intensidad del evento sísmico, se traduce en la mayoría de los casos en el colapso global de la estructura. En este punto, es importante resaltar que el tipo de las acciones a las que se verá expuesta una estructura y, por lo tanto, su respuesta sísmica y afectación después de un terremoto es determinado principalmente por el tipo de suelo (ver Figura 2.2) y su configuración estructural.

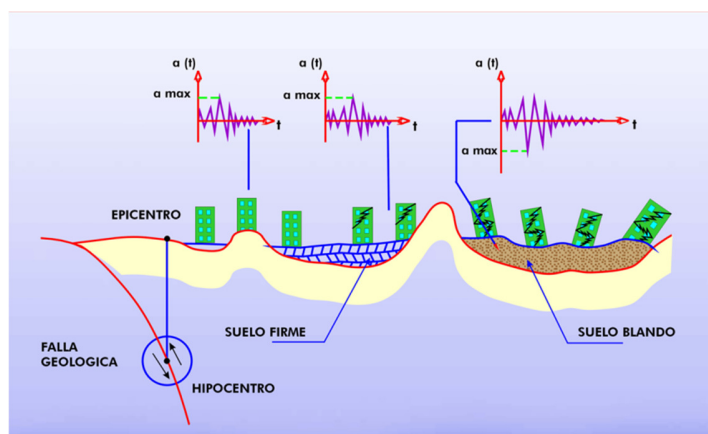


Figura 2.2. Efecto del suelo en la respuesta sísmica de las estructuras

2.2 NECESIDAD DE REPARACION Y REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL

La configuración de esta Guía es coherente con la naturaleza de las medidas de intervención previstas en las principales normas internacionales. La repetición de ciertos mecanismos de falla, documentados por las fotografías que se muestran en las secciones siguientes (ver 2.2.1 y 2.2.2) y poco considerados por las normativas utilizadas anteriormente, requiere intervenciones dirigidas principalmente a la eliminación de las deficiencias del diseño original. Se hace referencia, por ejemplo, a la debilidad de los nudos viga-columna en pórticos de hormigón armado (H.A.), a la fragilidad y deficiente conexión de los muros de cerramiento y divisorios en ladrillo y bloques de hormigón con el sistema aporticado, la baja ductilidad de las estructuras asociada con una deformación excesiva (losas de piso), o a la debilidad de los uniones en los muros de carga de estructuras de mampostería que facilitan su volcamiento. La presente guía se enfoca en los aspectos descriptivos de las intervenciones a realizar en vez de los aspectos computacionales relacionados con el análisis de la estructura, ya que la eliminación de las deficiencias de construcción típicas mediante el tipo de intervenciones descritos es condición previa necesaria a la adquisición de los niveles de seguridad deseados.

La realización de estudios de vulnerabilidad sísmica, sin embargo, es un requisito previo indispensable para la definición de intervenciones adecuadas que permitan garantizar un adecuado comportamiento de estructuras en riesgo sísmico. Con el fin de definir los criterios principales para la intervención de edificaciones existentes objeto de la presente Guía, debe tenerse en cuenta que para contrarrestar con éxito las solicitaciones sísmicas es de suma importancia considerar la capacidad de disipación de energía sísmica que se obtiene a través del incremento de la ductilidad de las estructuras o mediante su aislamiento sísmico. La ductilidad y la capacidad de deformación de una estructura existente pueden aumentarse hasta un cierto nivel mediante el uso de materiales compuestos diseñados adecuadamente, o con el uso del aislamiento sísmico por medio de dispositivos especiales específicamente diseñados que facilitan el desplazamiento y la fricción para disipar energía. La presente Guía se refiere específicamente a la primera solución, es decir, al incremento de la ductilidad de una estructura existente y a la reparación de edificios afectados por un evento sísmico mediante el uso de materiales compuestos fibroreforzados, dejando para próximas publicaciones el tema del aislamiento sísmico. Debe también resaltarse que edificaciones diseñadas recientemente con requerimientos sismorresistentes, pueden ser inadecuadas para resistir eventos sísmicos de magnitud mayor a la especificada en la fase de diseño, tales como los registrados en los últimos 50 años.

Con relación al incremento de la resistencia y de la ductilidad de las estructuras mediante el uso de materiales compuestos fibroreforzados, que han sido objeto de estudio por más de 25 años, es importante establecer en este punto que el incremento de ductilidad y capacidad de disipación de energía de una estructura es proporcionado a la estructura como un todo aunque los materiales de reforzamiento sean frágiles. Un ejemplo típico de este concepto es el de una columna de hormigón armado que presenta una rotura frágil a compresión en el Estado Límite Último (ELU). Una vez que la columna es confinada mediante el uso de polímeros reforzados con fibras de carbono, por ejemplo (carbon fiber reinforced polymers, CFRP), presentará un comportamiento extremadamente dúctil con una fuerte capacidad de deformación plástica, si bien los dos componentes originales, hormigón y CFRP, presentan un comportamiento frágil en el ELU.

En la práctica, el diseñador debe tener en cuenta que las intervenciones de reforzamiento local, aun en los casos en los que no se requiera un análisis cuantitativo de la seguridad global de la estructura, implican un mejoramiento del comportamiento sísmico de la misma por medio de los siguientes aspectos:

- La reducción del riesgo de activación de mecanismos frágiles tales como: la rotura de nudos viga-columna debido a la transmisión de cargas de las vigas y las columnas que convergen en el nudo y que por lo general se presenta por esfuerzos cortantes; rotura del nudo-columna en su parte inferior por deslizamiento en correspondencia con las juntas de construcción o en la extremidad superior de la columna debido a la componente cortante de la fuerza de la biela transmitida por los muros divisorios; rotura por corte en los extremos de las vigas; rotura debido

a las denominadas “columnas cortas”, que se encuentran típicamente en escaleras o son formadas por la presencia de ventanas localizadas entre los muros divisorios o de fachada y la parte inferior de las vigas.

- El aumento de la ductilidad de los extremos de los pilares, en el que normalmente se concentran demandas de ductilidad. Las situaciones que generan la rotura de los nudos y las mayores demandas de ductilidad en las columnas se encuentran normalmente localizadas en los nudos y columnas externas, particularmente en aquellos de esquina, por las razones siguientes: los nudos no están confinados en al menos uno (nudos de pared) o dos (nudos de esquina) lados; los nudos y columnas son más susceptibles a la acción de empuje de los muros, particularmente en los nudos de esquina en los que el empuje de una parte no es compensado por el muro de la parte opuesta; están sujetos a mayores deformaciones debido a efectos torsionales globales de la estructura.

Por lo tanto, la intervención para reforzamiento local en pórticos de hormigón armado debe centrarse principalmente en nudos y columnas perimetrales, dando prioridad a aquellos de esquina. Es obvio que pueden identificarse situaciones específicas que pueden favorecer mecanismos frágiles o demandas de ductilidad concentradas, posiblemente evidenciadas por los daños causados por el terremoto y que merecen medidas particulares para mejorar el comportamiento local. Es, por ejemplo, el caso de nudos internos no continuos y que, por lo tanto, presentan las características de nudos externos, columnas y vigas cortas sometidas a grandes esfuerzos de corte, etc. Sin embargo, es claro que el reforzamiento de los pórticos perimetrales, que son a menudo los más robustos de la estructura, presenta ventajas importantes vinculadas también a la mayor capacidad de resistencia de los efectos torsionales globales de la estructura. Permaneciendo dentro del alcance de las estructuras de hormigón armado, no es poco frecuente que el terremoto también haya causado daños a las vigas en correspondencia con la mitad de las luces, debido al efecto combinado de las cargas verticales y, principalmente, a la componente vertical las cargas sísmicas, a menudo causado por una insuficiencia de la propia viga. En este caso, será necesario adoptar medidas de reforzamiento a flexión y/o cortante con el fin de mejorar la capacidad estructural. En la aplicación de estas medidas es importante evitar el aumento del momento resistente de las vigas en el nudo, con el fin de no propiciar mecanismos de colapso por columnas débiles y vigas fuertes (jerarquía de resistencia), y no modificar el comportamiento global del edificio.

El desempeño sísmico de edificios de mampostería, por su parte, es determinado principalmente por dos mecanismo de daño y colapso: comportamiento fuera y en el plano de los muros. Es claro que los mecanismos fuera del plano son más peligrosos ya que se activan con fuerzas considerablemente menores y dan lugar a daños frágiles y casi instantáneos. De hecho, generan el volcamiento total o parcial de los muros, lo que se traduce en la pérdida de apoyo de las losas y en el colapso general o parcial de la edificación. Debe notarse que estos mecanismos son favorecidos por la presencia de juntas inadecuadas entre muros ortogonales y entre los muros y las losas. Por lo tanto es prioritario, en los lugares en que se presenten este tipo de situaciones, garantizar mejores conexiones, por ejemplo a través de la inserción de tirantes dispuestos adecuadamente, el anclaje de vigas de losa a la mampostería, el fortalecimiento de los muros en la zona de conexión con las losas, etc.

En esta Guía, además de las intervenciones en los elementos estructurales, ejecutados con el fin de repararlos o reforzarlos localmente ante los efectos de las acciones sísmicas y de las cargas de servicio, se consideran también las intervenciones sobre los elementos no estructurales, en particular muros divisorios y de fachada, que debido a su peso y a su ubicación, pueden afectar la seguridad de las personas, incluso en el caso en el que la estructura no sufra daños significativos. Los muros interiores y de fachada pueden colaborar de manera positiva a la resistencia del edificio frente a un terremoto pero pueden, sin embargo, ser perjudiciales debido a la concentración de fuerzas en la parte superior de la columna, en el caso de pórticos de hormigón armado, como fruto del efecto biela, e incluso llegar a ser peligroso en el caso de rotura, caída o volcamiento.

Los efectos perjudiciales o la ineficaz colaboración de los muros divisorios y de fachada son principalmente determinados por la inadecuada o ausente conexión de los muros con los pórticos estructurales, sobre todo a lo largo del borde superior y de los bordes laterales, debido al sistema constructivo de estos muros, que generalmente se ejecutan posteriormente a la terminación de la estructura de hormigón armado. La falta de conexión a lo largo del borde superior previene la transferencia de las fuerzas en los muros a la viga superior, haciendo inevitable la concentración de esfuerzos cortantes en el extremo superior de las columnas. La implementación de juntas adecuadas en los bordes laterales de los muros impide el colapso fuera del plano de los muros, mejora su colaboración con la estructura de hormigón armado y limita o elimina efectos locales adversos.

A continuación se presentan algunas imágenes típicas de edificaciones dañadas por terremotos, en las cuales es posible observar los mecanismos de daño y colapso descritos anteriormente, tanto para edificaciones en hormigón armado, y mampostería como para elementos no estructurales tales como muros divisorios y de fachada.

2.2.1 Daños en estructuras afectadas por los eventos sísmicos de 2016 en Ecuador

El siguiente registro fotográfico presenta un resumen de los principales tipos de daños y patologías observados en estructuras de hormigón armado y mampostería después de los eventos sísmicos del 16 y 20 de abril de 2016 en Ecuador.



Figura 2.3. Vista general de danos



Figura 2.4. Inadecuada calidad del hormigón



Figura 2.5. Volcamiento de muros de fachada



Figura 2.6. Colapso por excesiva deformabilidad de pisos intermedios



Figura 2.7. Colapso por efecto torsional de esquina



Figura 2.8. Colapso/daños de muros de fachada (a).



Figura 2.9. Colapso/daños de muros de fachada (b).



Figura 2.10. Colapso por daños en nudos viga-columna



Figura 2.11. Daños producidos por baja ductilidad de la estructura y colapso de muros de fachada

2.2.2 Daños en estructuras afectadas por eventos sísmicos en otras partes del mundo



Figura 2.12. Daños en nudos viga-columna.



(a)



(b)

Figura 2.13. a) Columna corta; b) Daños en la mitad de la luz de vigas.



(a)



(b)

Figura 2.14. a) Daños en edificaciones de mampostería; b) Daños por separación del cordón superior de muros de fachada.



Figura 2.15. Separación de muros de los pórticos de hormigón.



Figura 2.16. Caída de muros de fachada y revestimientos.



(a)



(b)



(c)

Figura 2.17. a) Daños en edificaciones de mampostería; b) Colapso de muros de fachada; c) Daños por fuerzas cortantes.



(a)



(b)

Figura 2.18. a) Colapso por formación de rotulas plásticas; b) Colapso de muros de fachada por acciones ortogonales.



Figura 2.19. Daños en muros divisorios y volcamiento del revestimiento



Figura 2.20. Colapso de cubierta debido a conexiones inadecuadas

2.3 TIPOS DE INTERVENCION INCLUIDOS EN ESTA GUIA

Con referencia a los tipos de intervención que pueden ejecutarse en una estructura existente para su recualificación, reforzamiento estructural y/o para la recuperación de edificios afectados por un terremoto de manera no irreversible, esta Guía propone posibles soluciones que se dividen en las siguientes categorías:

- Reparación local de elementos estructurales;
- Reparación de elementos no estructurales afectados;
- Intervención sobre muros divisorios, de fachada y parapetos sin afectación o con daño limitado, con el fin de evitar futuras fallas estructurales peligrosas para la seguridad de las personas;
- Reforzamiento local de elementos individuales y/o de elementos estructurales de hormigón armado y mampostería.

Debe resaltarse que la elección de las intervenciones de reforzamiento locales no puede llevarse a cabo sin tener en cuenta un análisis cualitativo general de las características de los elementos estructurales y no estructurales y de las afectaciones presentes. Lo anterior con el fin de concebir de un proyecto de reparación y reforzamiento local adecuado para eliminar o reducir drásticamente las debilidades y deficiencias que podrían poner en peligro el correcto comportamiento de toda la estructura.

El análisis cuantitativo, en este caso, está destinado únicamente a definir el aumento de la resistencia o ductilidad local, logrado por la intervención. Obviamente, cuando las reparaciones y reforzamientos locales proporcionan un significativo mejoramiento del desempeño sísmico en edificaciones con importantes afectaciones estructurales, en los que su uso anterior a la intervención no es factible, el análisis cuantitativo ejecutado a través de cálculos estructurales realizados para determinar los niveles generales de seguridad, debe llevarse a cabo en toda la estructura. Del análisis cualitativo de las deficiencias estructurales, por otra parte, debe obtenerse la definición conceptual de las intervenciones locales a efectuar y la consiguiente selección de la opción técnica más adecuada. Dicha selección debe tener en cuenta, como mínimo, aspectos económicos, operacionales, geométricos y la interacción con otros elementos constructivos. Sin embargo, es importante que el diseñador siempre sea capaz de diagnosticar las causas de las deficiencias de los elementos estructurales e identifique o adapte la intervención y la opción de reforzamiento técnicamente idónea para eliminar o reducir dichas deficiencias, según las características particulares del proyecto.

3 REFORZAMIENTO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

3.1 ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO

En esta sección, la atención se centra en los nudos viga-columna no confinados de estructuras en hormigón armado, que se encuentran típicamente en el perímetro de la estructura ya sea en las esquinas (nudo de esquina) o en fachada (nudo intermedio). Como parte de las posibles alternativas que el diseñador puede elegir para el reforzamiento local de los nudos no confinados, se analizan las soluciones basadas en la aplicación externa de materiales compuestos reforzados con fibras de carbono o acero de alta resistencia (UHTSS). El cálculo y la verificación técnica de dicho reforzamiento externo pueden llevarse a cabo de acuerdo con la Guía CNT DT 200 2014 R1, que fue presentada en el Seminario Técnico sobre materiales compuestos organizado en noviembre de 2015 por la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil y por la Universidad de Miami, Coral Gables Florida USA (Apéndice A). Adicionalmente, se ha desarrollado el programa SofTware¹ con el fin de proporcionar una herramienta para el reforzamiento de estructuras de hormigón armado con materiales compuestos (Apéndice C Manual del Usuario).

Con el fin de garantizar un adecuado desempeño del nudo viga-columna, y obtener un aumento significativo de la ductilidad del sistema y, por lo tanto, de la estructura como un todo, las intervenciones propuestas permiten también un aumento de la resistencia a cortante de las vigas y los columnas en las secciones en las que convergen en el nudo y un confinamiento de los extremos de las columnas, donde se concentran las demandas máximas de ductilidad en flexo-compresión.

Las intervenciones se dividen en diferentes tipos, cada uno dedicado a la prevención de un mecanismo de colapso. Sin embargo, el éxito de la intervención depende del funcionamiento en conjunto de cada uno de estos componentes, y por lo tanto no es posible adoptar intervenciones parciales en las cuales uno de dichos componentes no es ejecutado.

3.1.1 Criterios para el reforzamiento local de nudos no confinados

Los tipos de intervención propuestos mejoran el rendimiento del nudo viga-columna mediante:

- Incremento de la capacidad del nudo y de la sección superior de la columna frente a las fuerzas cortantes provenientes de los muros de fachada. La observación de los daños posteriores al terremoto confirma que dicha acción de corte puede generar danos significativos al nudo que, en función del proceso constructivo y la localización de las juntas de construcción, se manifiesta como una fisura diagonal en el panel del nudo (Figura 3.1a), casi horizontal localizada en la conexión nudo-columna (Figura 3.1b).

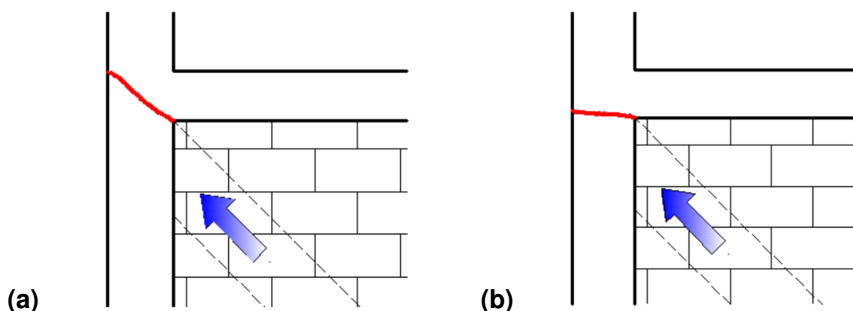


Figura 3.1. Representación esquemática del mecanismo de rotura en un nudo viga-columna debido a las fuerzas cortantes provenientes de los muros: a) Fisura diagonal en el nudo; b) Fisura casi horizontal en la junta nudo-columna.

¹ Para mayor información sobre el programa SofTware, contactar info@gpintech.com.

Para dar al nudo de una mayor capacidad de resistencia contra el mecanismo descrito, se aconseja, en el caso de utilizar materiales compuestos, realizar el reforzamiento con fibras en acero (UHTSS), inclinadas de acuerdo a lo indicado en la Figura 3.2 para nudo de esquina, y en la Figura 3.4a para nudos intermedios. El cálculo de dicho reforzamiento puede realizarse asumiendo que este toma la totalidad de la fuerza H_o , definida en el Apéndice B. Como complemento a la intervención, es oportuno disponer de franjas de material en fibra de carbono, dispuestas en la intersección de las vigas con las columnas (ver

Figura 3.3 y Figura 3.4b).

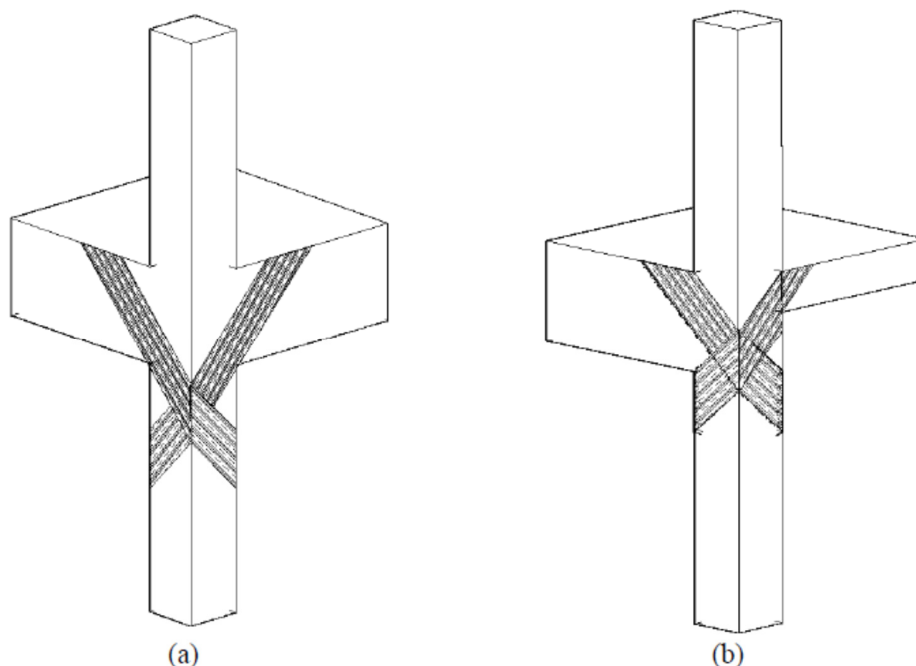


Figura 3.2. Franjas diagonales con tejido en acero unidireccional aplicadas en un nudo de esquina: (a) nudo con dos vigas de altura diferente al espesor de la placa; (b) nudo con vigas de altura igual y diferente a la placa.

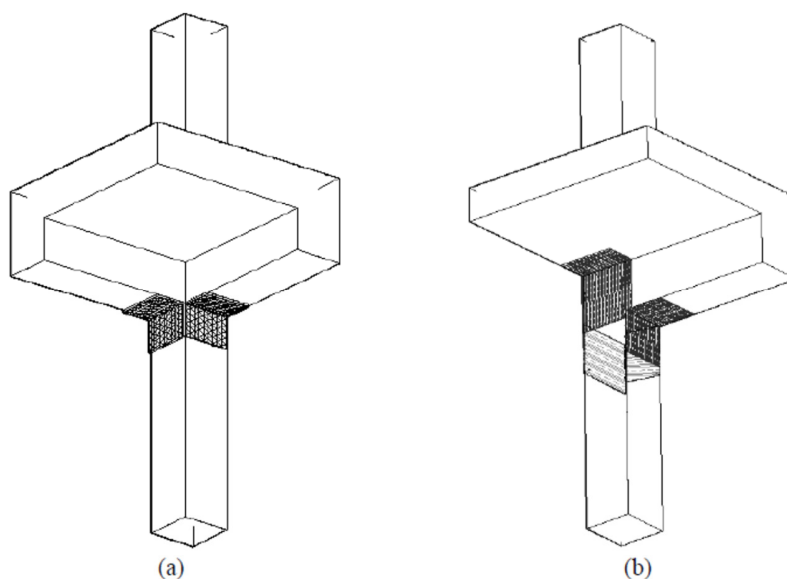


Figura 3.3. Franjas de carbono en "L" en la intersección de la viga y la columna en un nudo de esquina: (a) nudo con dos vigas de altura diferente al espesor de la placa; (b) nudo con vigas de altura igual y diferente a la placa.

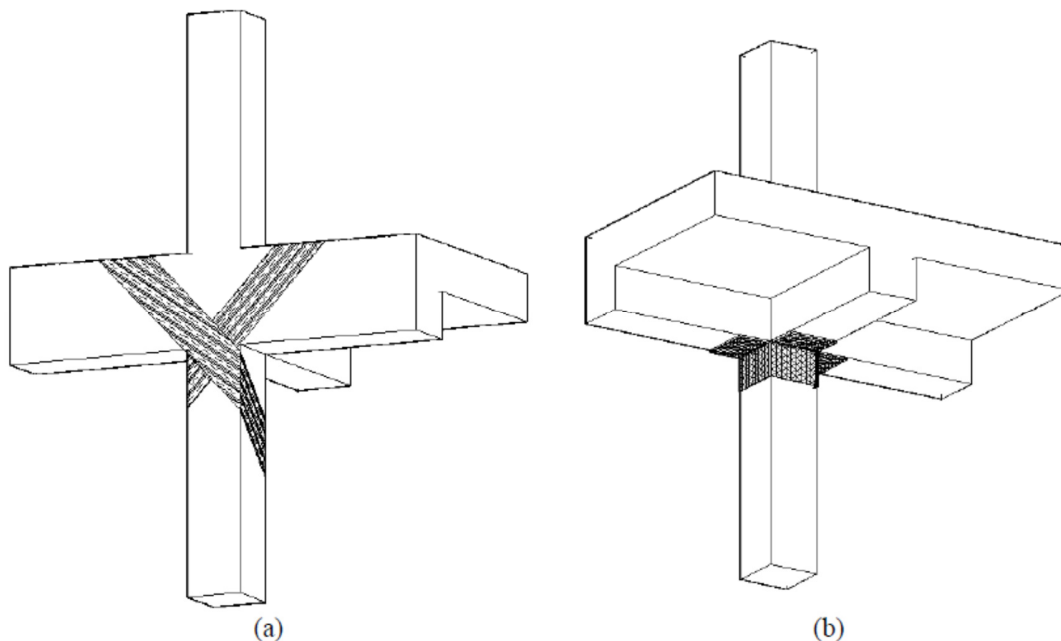


Figura 3.4. Reforzamiento con tejido en acero unidireccional para un nudo intermedio: (a) vista externa; (b) vista interna.

- Incremento de la resistencia a cortante del nudo que se puede lograr por medio de tejidos cuadriaxiales de carbono, como se muestra en la Figura 3.5 para un nudo de esquina y en la Figura 3.6 para un nudo intermedio.

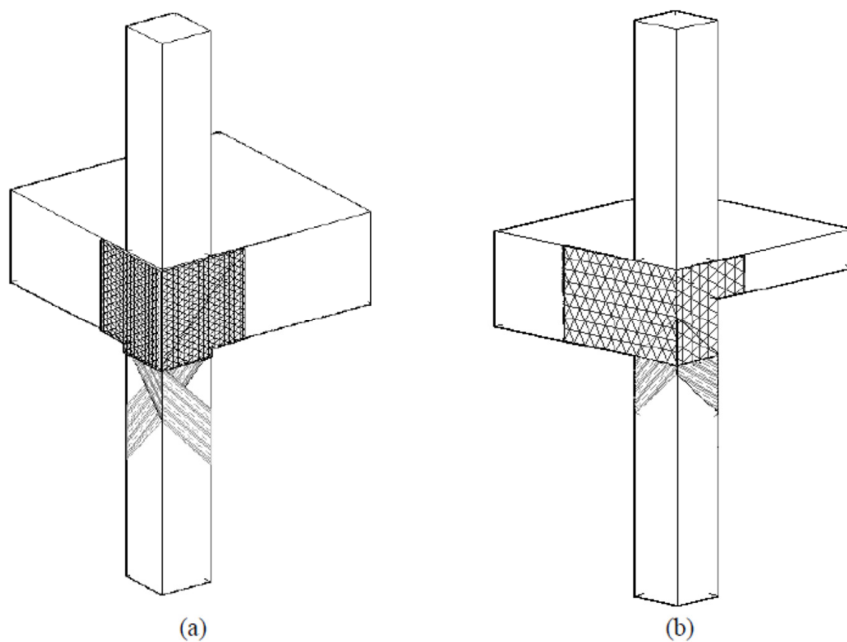


Figura 3.5. Tejido cuadriaxial en fibra de carbono para nudo de esquina: (a) nudo con dos vigas de altura diferente al espesor de la placa; (b) nudo con dos vigas de altura igual y diferente a la placa de piso (nótese que el tejido cuadriaxial debe colocarse también en el lado interno de la viga, no visible en el esquema (b)).

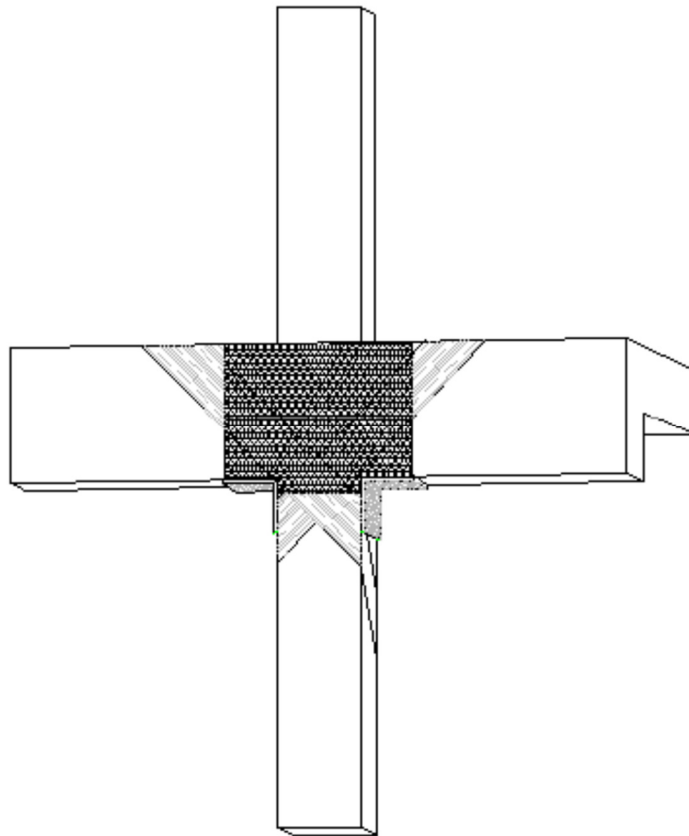


Figura 3.6. Tejido cuadraxial de carbono en un nudo intermedio.

- Confinamiento de los extremos de las columnas. El confinamiento permite proporcionar a las columnas un aumento significativo de la resistencia al corte y de la capacidad de deformación. También tiene un efecto beneficioso con respecto a la potencial inestabilidad de las barras longitudinales en las situaciones en las que la separación de los estribos sea muy larga. Para el extremo superior de la columna, el aumento de la resistencia a corte proporcionada por el confinamiento ayuda también a resistir la acción de corte adicional debida a la biela que se forma en el muro. El confinamiento de los extremos de las columnas puede lograrse envolviendo las mismas con fibras de carbono unidireccional como se muestra en La Figura 3.7 para el nudo de esquina y en la Figura 3.8 para el nudo intermedio.

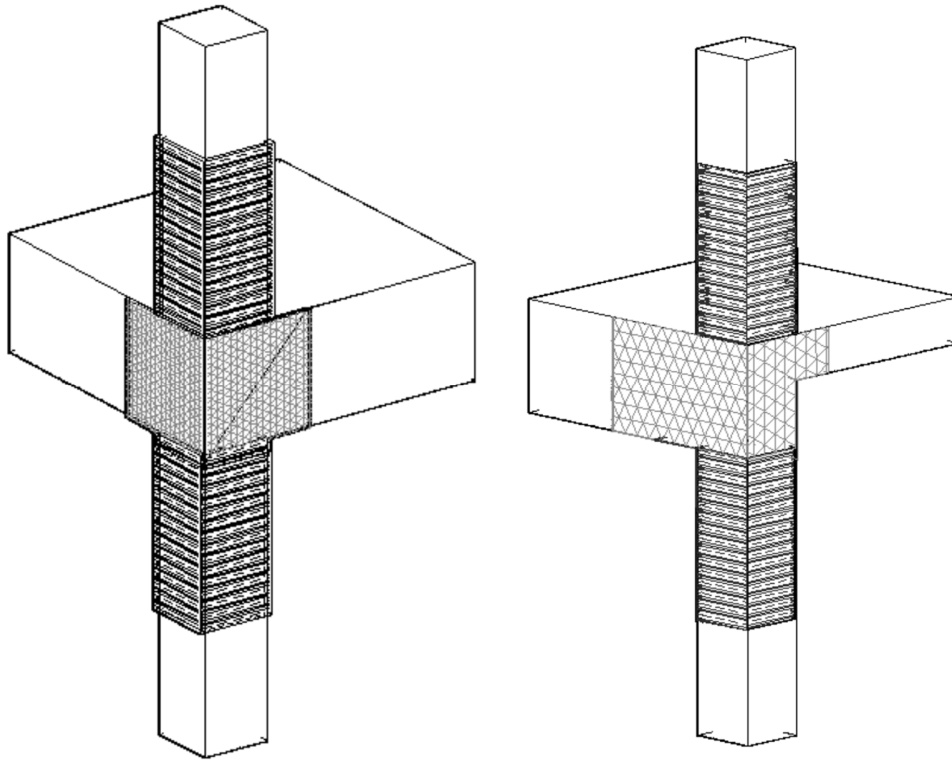


Figura 3.7. Confinamiento de columnas en un nudo de esquina: (a) nudo con dos vigas de altura diferente al espesor de la placa; (b) nudo con dos vigas de altura igual y diferente a la placa de piso

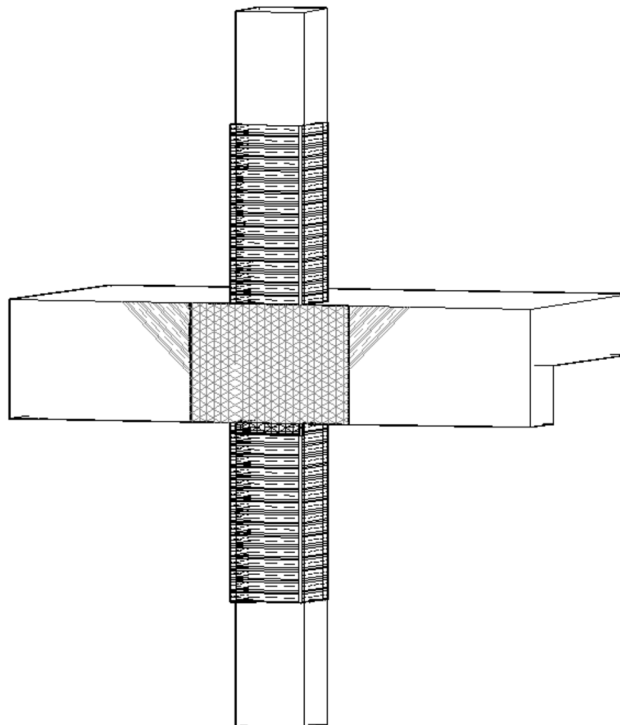


Figura 3.8. Confinamiento de columnas en un nudo intermedio

- Aumento de la resistencia a cortante en los extremos de las vigas que ayuda a evitar daños por cortante en los casos en que la resistencia del hormigón es relativamente baja y/o el refuerzo

a cortante es deficiente. Mediante el uso de materiales compuestos, este incremento se puede efectuar por medio de la aplicación de franjas de carbono unidireccionales dispuestas en “U” que también sirven como anclaje para el reforzamiento del nudo, tal como se muestra en la Figura 3.9 para un nudo de esquina y en la Figura 3.10 para un nudo intermedio.

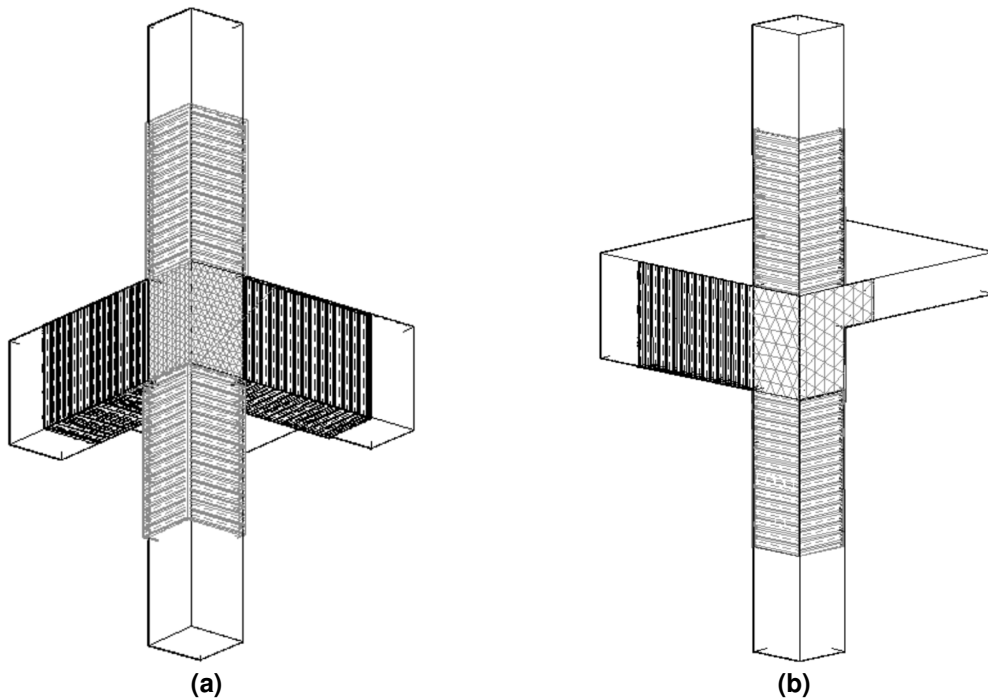


Figura 3.9. Reforzamiento a cortante con configuración en “U” para los extremos de vigas en un nudo de esquina: (a) nudo con dos vigas de altura diferente al espesor de la placa; (b) nudo con dos vigas de altura igual y diferente a la placa de piso

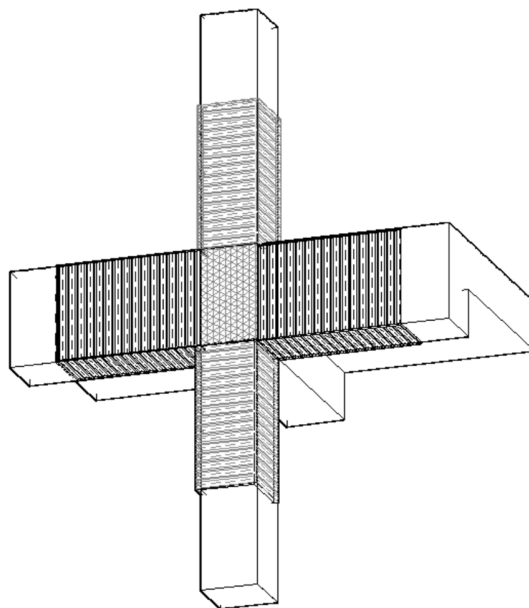


Figura 3.10. Reforzamiento a cortante con configuración en “U” para los extremos de vigas en un nudo intermedio



Figura 3.11. Reforzamiento de nudos viga-columna.

3.1.2 Indicaciones para la reparación y preparación de los sustratos

3.1.2.1 Tratamiento de pasivación e inhibición de la corrosión para la protección del refuerzo en acero

Las barras de refuerzo, descubiertas después de realizar el proceso de demolición del recubrimiento del refuerzo, deben ser limpiadas del óxido con proceso de chorro de arena o cepillado mecánico y deben ser sometidas a un proceso de pasivación mediante la aplicación de una película bicomponente especial que tiene como fin aumentar el pH por encima de 12, que es el nivel mínimo para evitar la corrosión.

Para garantizar la efectividad del bicomponente, es fundamental que las varillas estén libres de hormigón degradado y carbonatado y de grasas, aceites y óxido. El refuerzo en acero sustitutivo o adicional debe ser tratado de la misma manera. Una segunda capa de bicomponente puede ser aplicada aproximadamente 60 minutos después de la primera y preferiblemente antes de completar 24 horas, en función de la temperatura ambiente. Se recomienda cubrir completamente y de forma homogénea la superficie de las barras. El espesor total debe ser aproximadamente de 2 mm. Durante la ejecución de esta operación, es inevitable ensuciar el hormigón adyacente, sin embargo esto no implica ningún problema ya que, al contrario, mejora en gran medida la adherencia del mortero de reparación. La reparación del hormigón (con morteros de retracción compensada) debe realizarse cuando la película de pasivación se haya secado (aproximadamente 4 horas a + 20 ° C). En cuanto al material pasivante, este debe estar de acuerdo con las regulaciones nacionales e internacionales y poseer las siguientes características mínimas de desempeño:

- pH de la mezcla: > 12.5
- Adhesión al hormigón ($a/c = 0.40$) $\geq 2.0 \text{ N/mm}^2$ (método de ensayo ASTM D 4541 - EN 1542)

3.1.2.2 Reparación de fisuras con resina epoxi

La reparación de grietas en elementos de hormigón armado se realiza con el fin de restaurar la continuidad estructural de los mismos. Los procedimientos de reparación implican el uso de productos que, al ser untados, inyectados o infiltrados, son capaces de asegurar un comportamiento monolítico

de dos partes separadas por una fisura a lo largo de la longitud y profundidad de dicha fisura. Los procedimientos ejecutados deben incluir el uso de productos que cumplan con normas nacionales e internacionales.

3.1.2.3 Reparación de fisuras por sellado con espátula.

Este tipo de reparación se divide en las siguientes fases de implementación:

- Apertura y uniformización de la amplitud de las grietas mediante el uso de un esmeril angular u otra herramienta similar. Extracción del polvo de las ranuras con aire comprimido.
- Sellado superficial de las fisuras con adhesivo epoxi bicomponente tixotrópico u otro material sellador adecuado. Esta operación puede llevarse a cabo utilizando una espátula metálica.
- Espolvorear arena sobre el adhesivo aún fresco. La operación es indispensable en los casos en los que se deban aplicar pañetes, estucos y demás acabados superficiales.
- Eliminación de la arena no adherida mediante aspiración.

3.1.2.4 3.1.2.4. Reparación de fisuras por infiltración

Este tipo de reparación se divide en las siguientes fases de implementación:

- Ampliación de las fisuras a forma de "V" para facilitar la posterior aplicación de la resina.
- Eliminación de polvo de las fisuras mediante el uso de un compresor de aire.
- Sellamiento de las fisuras superficiales con una resina epoxi fluida que cumpla con las normas nacionales e internacionales.
- Espolvorear arena sobre la resina "fresca". La operación es indispensable en los casos en los que se deban aplicar pañetes, estucos y demás acabados superficiales.
- Eliminación de la arena no adherida mediante aspiración.

3.1.2.5 Reparación de grietas con resina por inyección

Este tipo de reparación se divide en las siguientes fases de implementación:

- Extracción de polvo de las ranuras con aire comprimido.
- Sellamiento de grietas superficiales mediante el uso de adhesivo epoxi tixotrópico.
- Colocación de los tubos de inyección simultáneamente con la operación de sellado.
- Inyección de la resina epoxi fluida o súper fluida de acuerdo con las normas nacionales e internacionales. Con el fin de expulsar el aire presente en las fisuras, la inyección de la resina debe iniciarse a partir del tubo de inyección inferior en una superficie vertical o de la extremidad para superficies horizontales, hasta que se observe salida del material en tubo de inyección sucesivo. Tras el cierre del primer tubo de inyección, se debe proceder con los tubos sucesivos hasta que la fisura sea totalmente llenada con la resina.
- Remoción de los tubos de inyección.
- Sellado de los orificios con adhesivo epoxi bicomponente tixotrópico.

A manera de ejemplo, los productos deben tener las siguientes características y propiedades mínimas:

Tabla 3.1. Propiedades de resinas para reparaciones de grietas.

Producto	Resistencia a compresión (MPa)	Resistencia a flexión (MPa)	Módulo elástico (MPa)	Adhesión al hormigón (MPa)
Resina tixotrópica	> 50	> 30	> 3000	> 2.5
Resina fluida	> 80	> 40	> 4500	> 2.5
Resina súper fluida	> 50	> 35	> 2000	> 2.5

3.1.2.6 Reparación del recubrimiento del concreto con mortero tixotrópico reforzado con fibras.

Este tipo de reparación se divide en las siguientes fases de implementación:

- Preparación del sustrato por medio de demolición mecánica o manual del hormigón deteriorado hasta lograr una superficie mecánicamente resistente y adecuadamente rugosa (≥ 5 mm).
- Aplicación del agente inhibidor de corrosión sobre las varillas de refuerzo.
- Saturación del sustrato con agua.
- Reconstrucción del recubrimiento por medio de morteros cementicios de retracción compensada, reforzados con fibras, con agregados seleccionados y resinas especiales y micro sílices, utilizando espátula o bomba de concreto, en espesores de unos 2-3 cm por estrato. El mortero debe cumplir con las regulaciones nacionales e internacionales que garanticen las características estructurales adecuadas para el tipo de intervención. Cuando sea necesario, según el producto utilizado, permitir la expansión durante los primeros días de curado, se puede mezclar, durante la fase de preparación, el 0,3 a 0,5% (porcentaje típico) de aditivo polimérico líquido libre de cloruro, con el fin de mejorar la adherencia y reducir la aparición de microfisuras.

A manera de ejemplo, los morteros deben tener las siguientes características y propiedades mínimas (a los 28 días de edad):

Tabla 3.2. Propiedades de morteros para la reparación de recubrimientos de concreto.

Resistencia a compresión (MPa)	Módulo elástico (GPa)	Adhesión al hormigón, relación a/c=0.40 (MPa)	Resistencia al fuego (Euroclase)
≥ 15	-	≥ 0.8	A1
≥ 25	≥ 15	≥ 1.5	A1
≥ 45	≥ 20	≥ 2.0	A1

3.1.2.7 Reparación del recubrimiento con mortero de bajo módulo de elasticidad

Este tipo de reparación se divide en las siguientes fases de implementación:

- Preparación del sustrato por medio de demolición mecánica o manual del hormigón deteriorado hasta lograr una superficie mecánicamente resistente y adecuadamente rugosa (≥ 5 mm).
- Aplicación del agente inhibidor de corrosión sobre las varillas de refuerzo.
- Saturación del sustrato con agua.
- Reconstrucción del recubrimiento por medio de morteros cementicios bicomponentes de bajo módulo, con agregados seleccionados, fibras sintéticas y resinas poliméricas. El mortero debe cumplir con las regulaciones nacionales e internacionales que garanticen que las características estructurales adecuadas para el tipo de intervención. La aplicación debe realizarse utilizando espátula o bomba de concreto, en espesores de unos 3-4 cm por estrato. Espesores superiores deberán realizarse por etapas, siempre aplicando el nuevo estrato cuando el anterior está en estado fresco.

A manera de ejemplo, los morteros deben tener las siguientes características y propiedades mínimas (a los 28 días de edad):

Tabla 3.3. Propiedades de morteros para la reparación de recubrimientos de concreto.

Resistencia a compresión (MPa)	Resistencia a flexión (MPa)	Módulo elástico (GPa)	Adhesión al hormigón, relación a/c=0.40 (MPa)	Resistencia al fuego (Euroclase)
≥ 45	> 10	< 15 GPa	≥ 2.0	E

3.1.2.8 Reconstrucción del hormigón en formaleta

Este tipo de reparación se divide en las siguientes fases de implementación:

- Preparación del sustrato por medio de demolición mecánica o manual del hormigón deteriorado hasta lograr una superficie mecánicamente resistente y adecuadamente rugosa (≥ 5 mm).
- Limpieza del hormigón y de las varillas de refuerzo hasta que queden libres de polvo, lechadas de cemento, óxido, grasa, aceite y pinturas.
- Aplicación del agente inhibidor de corrosión sobre las varillas de refuerzo.
- Saturación del sustrato con agua.
- La colocación del hormigón debe realizarse después de la evaporación del agua en exceso en el sustrato. Si es necesario, debe utilizarse un compresor de aire para facilitar la evaporación del agua libre.
- Reconstrucción del hormigón dentro del encofrado mediante el vertimiento de un mortero cementicio de retracción compensada, reforzado con fibras, con agregados seleccionados, aditivos especiales y micro sílices, con el fin de aumentar la capacidad del elemento estructural y la reparación del recubrimiento. El mortero debe cumplir con las regulaciones nacionales e internacionales que garanticen sus propiedades estructurales. Es recomendable verter el mortero desde un solo lado, con flujo continuo, con el fin de garantizar la expulsión de aire.

Para espesores superiores a los 4 cm, es recomendable la adición del 30% del peso de mortero, de agregados de tamaño adecuado según el espesor requerido (típicamente gravilla de 6-10 mm).

Para espesores > 4 cm, debe incluirse refuerzo metálico colocado aproximadamente en la mitad del espesor y conectado con la armadura existente, garantizando un recubrimiento mínimo ≥ 20 mm.

Como alternativa, se puede utilizar un micro hormigón, moldeable, reforzado con fibras metálicas rígidas, de contracción compensada, sin necesidad de refuerzo metálico hasta un espesor de 5 cm, con resistencia a flexión >16 MPa y módulo elástico > 27 GPa.

A manera de ejemplo, los morteros deben tener las siguientes características y propiedades mínimas (sin gravilla):

Tabla 3.4. Propiedades de morteros para la reparación de hormigón en formaleta

Característica	Valor
Dimensión máxima de los agregados (mm)	2.5
Peso específico (kg/m ³)	2300
Resistencia a la compresión (MPa)	≥ 45
Resistencia a la flexión (MPa)	> 9
Módulo elástico a compresión (MPa)	≥ 20
Adhesión sobre el hormigón, relación a/c=0.40 (MPa)	≥ 2
Resistencia al fuego (Euroclase)	A1

3.1.3 Procedimiento para el reforzamiento con materiales compuestos reforzados con fibras

A continuación se describe el procedimiento para llevar a cabo la instalación de fibras unidireccionales, bidireccionales y cuadraxiales de carbono, láminas CFK pultruidas (CFRP) y fibras unidireccionales de acero UHTSS latonado o galvanizado (SRP), con matrices poliméricas a base de resinas

termoestables, en particular, resinas epoxi. De acuerdo con las principales normas nacionales e internacionales, el sistema carbono/acero UHTSS con adhesivos debe ser certificado por laboratorios universitarios reconocidos con el fin de verificar el cumplimiento técnico de los requisitos indicados en la ficha técnica del proveedor (Ver 6.1) o por laboratorios que posean certificados de idoneidad técnica reconocidos internacionalmente y suministrados por las autoridades competentes. Por lo tanto no se permite sistemas (fibra y adhesivo) no certificados y el suministro de los componentes por separado (fibra o adhesivo).

Dentro de las principales normativas internacionales, se incluye la limitación del gramaje de las fibras, con el fin de garantizar la adecuada impregnación por parte de los adhesivos, a 600 g/m². Se limita también el número total de capas aplicadas a 5.

Según la orientación de las fibras, estas pueden ser de los siguientes tipos:

- Unidireccionales: con orientación de la fibra únicamente en la dirección longitudinal del rollo. La fibra presenta una trama ortogonal, no estructural, con el fin de mantener unida la trama en el sentido longitudinal.
- Bidireccionales: constituido por un tejido de trama ortogonal equilibrada (el mismo porcentaje de fibras en las dos direcciones 0°, 90°);
- Cuadriaxiales: consiste en fibras de carbono orientadas en las direcciones de 0°, 90°, ±45°.
- Láminas de fibra de carbono CFK pultruidas con fibras unidireccionales.

Se hace notar que los procedimientos que se describen en los capítulos siguientes son válidos para todos los tipos de orientación de las fibras (unidireccional, bidireccional y cuadriaxial).


Para la ejecución del reforzamiento mediante el uso de materiales compuestos reforzados con fibras (FRP-SRP), se recomienda utilizar exclusivamente productos especificados para tal fin (primer y adhesivos epoxi estructurales de acuerdo con la normativa nacional e internacional) con documentada compatibilidad químico-física con el sustrato y seguir las instrucciones y criterios de diseño, como por ejemplo los especificados en " Guía para el Diseño y Construcción de Sistemas FRP Pegados Externamente para el Reforzamiento de Estructuras Existentes" - DT 200 R1 2014, que se anexa a la presente Guía.

Debe destacarse que antes de la ejecución del reforzamiento, deben realizarse todas las actividades requeridas para garantizar condiciones de absoluta seguridad para la ejecución de los trabajos.

3.1.4 Características técnicas de las principales fibras utilizadas:

3.1.4.1 Fibra unidireccional de carbono U con alta resistencia (CFRP)


Tabla 3.5. Propiedades de fibras unidireccionales de carbono U con alta resistencia (CFRP)

Característica	Valor	Presentación
Gramaje fibra (g/m ²)	300 - 600	
Ancho de la fibra (cm)	30 - 50	
Resistencia media en tensión (MPa)	3800	
Módulo elástico (MPa)	240000	
Deformación unitaria (%)	1.8	

3.1.4.2 Fibra unidireccional de carbono U con alto módulo (CFRP)


Tabla 3.6. Propiedades de fibras unidireccionales de carbono U con alto modulo (CFRP)

Característica	Valor	Presentación
Gramaje fibra (g/m ²)	300 - 600	

Característica	Valor	Presentación
Ancho de la fibra (cm)	30 - 50	
Resistencia media en tensión (MPa)	3000	
Módulo elástico (MPa)	390000	
Deformación unitaria (%)	0.8	


3.1.4.3 Fibra bidireccional de carbono U con alta resistencia (CFRP)

Tabla 3.7. Propiedades de fibras bidireccionales de carbono U con alta resistencia (CFRP)

Característica	Valor	Presentación
Gramaje fibra (g/m²)	220 – 320 - 600	
Ancho de la fibra (cm)	20 - 50	
Resistencia media en tensión (MPa)	3800	
Módulo elástico (MPa)	240000	
Deformación unitaria (%)	1.8	


3.1.4.4 Fibra cuadriaxial de carbono Q con alta resistencia (CFRP)

Tabla 3.8. Propiedades de fibras cuadriaxiales de carbono q con alta resistencia (CFRP)

Característica	Valor	Presentación
Gramaje fibra (g/m²)	380	
Ancho de la fibra (cm)	127	
Resistencia media en tensión (MPa)	3800	
Módulo elástico (MPa)	240000	
Deformación unitaria (%)	1.8	

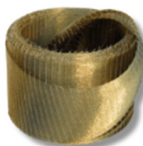
3.1.4.5 Láminas de carbono unidireccionales CFK pultruidas (CFRP)

Tabla 3.9. Propiedades de láminas de carbono CFK pultruidas (CFRP)

Característica	Valor	Presentación
Ancho (cm)	50 -100	
espesor (mm)	1.4	
Resistencia media en tensión (MPa)	>2500	
Módulo elástico (MPa)	>160000	
Deformación unitaria (%)	>1.5	


3.1.4.6 Fibras en acero unidireccional UHTSS latonado (SRP)

Tabla 3.10. Propiedades de fibras unidireccionales de acero UHTSS latonado (SRP)

Característica	Valor	Presentación
Gramaje fibra (g/m ²)	1910 - 3056	
Ancho del tejido (cm)	30	
Resistencia media en tensión (MPa)	>3050	
Modulo elástico (MPa)	>190000	
Deformación unitaria (%)	>2.2	

3.1.4.7 Fibras en acero unidireccional UHTSS galvanizado (SRP)

Tabla 3.11. Propiedades de fibras unidireccionales de acero UHTSS galvanizado (SRP)

Característica	Valor	Presentación
Gramaje fibra (g/m ²)	700 – 2200 – 3000	
Ancho del tejido (cm)	30	
Resistencia media en tensión (MPa)	>2500	
Modulo elástico (MPa)	190000	
Deformación unitaria (%)	1.78	

3.1.4.8 Adhesivos

Deben ser certificados y homologados para el sistema FRP-SRP de acuerdo con la normativa nacional e internacional.

3.1.5 Procedimiento para la aplicación de fibras de carbono

Para la aplicación del material compuesto reforzado con fibras de carbono en forma de tejido unidireccional, bidireccional o cuadriaxial impregnado in situ, deben seguirse los siguientes pasos:

- Paso 1. Eliminación del revoque y/o acabado superficial (en los casos en que sea necesario) y retiro mediante métodos adecuados del hormigón en mal estado (donde se encuentre presente). La intervención debe extenderse a la totalidad superficie a ser reforzada.
- Paso 2. Limpieza general con el fin de remover eventuales residuos del trabajo realizado en el paso 1. La intervención debe extenderse a la totalidad superficie a ser reforzada.



Figura 3.12. Procedimiento para la aplicación de fibras de carbono: Pasos 1 y 2.

- Paso 3. Redondeado de las esquinas y bordes afilados de la sección de hormigón (columnas, vigas) en las partes en las que se aplicará el reforzamiento CFRP (casos típicos: esquinas en el perímetro de elementos a confinar; sección a "U" para el refuerzo a cortante de vigas). El redondeado puede hacerse a mano o mecánicamente con herramientas que no golpeen el hormigón. Debe garantizarse un radio mínimo (r_{min}) de las esquinas igual a 20 mm.

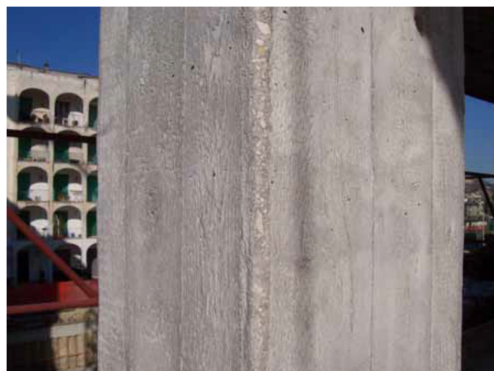


Figura 3.13. Procedimiento para la aplicación de fibras de carbono: Paso 3.

NOTA: Los pasos 4, 5, 6 y 7 deben realizarse sólo cuando sea necesaria (observación in situ de las siguientes afectaciones en las partes en las que se aplicara el reforzamiento: agrietamiento y/o daño, estrato superficial y/o profundo de hormigón carbonatado y/o deteriorado). Se resalta que cuando deban usarse morteros o productos de reparación que necesitan ser humedecidos para garantizar su curado, es necesario esperar hasta que estén completamente secos antes de iniciar la aplicación del reforzamiento.

- Paso 4. Tratamiento inhibidor de la corrosión (cuando sea necesario) de las barras de refuerzo existentes, de acuerdo con la en la Sección 3.1.2.1.
- Paso 5. Reparación de grietas estructurales, con materiales adecuados, de acuerdo con las sugerencias de los puntos 3.1.2.2, 3.1.2.3, 3.1.2.4 y 3.1.2.5.



Figura 3.14. Procedimiento para la aplicación de fibras de carbono: Paso 4.



Figura 3.15. Procedimiento para la aplicación de fibras de carbono: Paso 5.

- Paso 6. Reparación del hormigón (capa superficial deteriorada), en los casos en los que sea necesario, con la aplicación de morteros tixotrópicos de retracción controlada de acuerdo con las sugerencias de los puntos 3.1.2.6 y 3.1.2.7. Si la reparación superficial se realiza en los bordes de la sección en los que se aplicará el reforzamiento, estos deben redondearse de acuerdo con lo especificado en el paso 3.
- Paso 7: Reconstrucción del hormigón deteriorado (cuando sea necesario) con morteros de retracción compensada de acuerdo con lo dispuesto en el punto 3.1.2.8. Si la reparación superficial se realiza en los bordes de la sección en los que se aplicará el CFRP refuerzo, estos deben redondearse de acuerdo con lo especificado en el punto 3.



Figura 3.16. Procedimiento para la aplicación de fibras de carbono: Pasos 6 y 7.

- Paso 8: Cuando sea requerido por las especificaciones proporcionadas por el fabricante para la instalación del sistema de reforzamiento CFRP y/o cuando sea indicado por el diseñador para optimizar la adherencia del sistema de reforzamiento CFRP al sustrato de hormigón (mejoramiento de la superficie del elemento en la interfaz hormigón-CFRP) y/o en el caso de hormigones sumamente porosos o con tasas de humedad relativa altas, debe realizarse el acabado de la superficie aplicando un primer epoxi bicomponente fluido con un rodillo o un cepillo. Dicho acabado debe realizarse cuando la superficie de hormigón este limpia y seca. El ancho de la sección a tratar, debe ser igual al ancho del reforzamiento que se debe aplicar.
- Paso 9. Cuando sea requerido por las especificaciones proporcionadas por el fabricante para la instalación del sistema de reforzamiento CFRP y/o cuando sea indicado por el diseñador para optimizar la adherencia del sistema de reforzamiento CFRP al sustrato de hormigón para apoyar a través de la preparación del sustrato (eliminación de las irregularidades presentes en la superficie de hormigón), debe procederse a la nivelación mediante la aplicación de un recubrimiento de estuco epoxi tixotrópico, para la garantizar la uniformidad de la superficie de hormigón. La aplicación del producto se debe realizar sobre el primer todavía fresco (si está presente) con una llana dentada en un espesor de aproximadamente 1-2 mm. Posteriormente, se realizara la nivelación con una llana plana,

con el fin de nivelar y uniformizar incluso los más pequeñas irregularidades presentes en la superficie. En esta fase se procederá, utilizando el mismo producto, a redondear (en los casos en que sea necesario) los esquinas y bordes de la sección ($r_{\min}=20$ mm). Cuando se encuentren concavidades en el elemento, estas deben también redondearse utilizando el mismo producto ($r_{\min}=20$ mm). El ancho de la sección a tratar, debe ser igual al ancho del reforzamiento que se debe aplicar.



Figura 3.17. Procedimiento para la aplicación de fibras de carbono: Pasos 8 y 9.

- Paso 10. Cortar las franjas de tejido de acuerdo lo especificado por el diseñador. Las franjas deben conservarse en el sitio de trabajo y ordenados de acuerdo a la secuencia de aplicación, asegurando una protección adecuada contra el polvo.

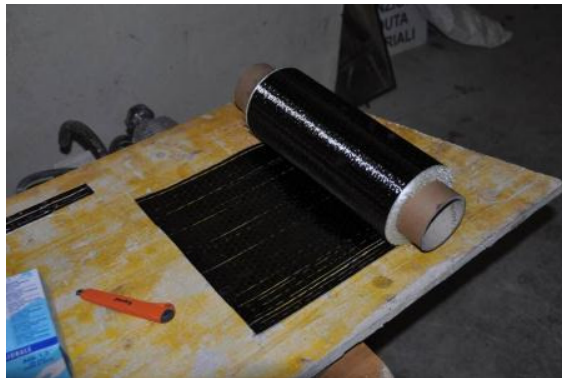


Figura 3.18. Procedimiento para la aplicación de fibras de carbono: Paso 10.

- Paso 11. A continuación puede realizarse la aplicación de la primera capa de adhesivo epoxi de viscosidad media. El impregnante del tejido debe ser aplicado con una brocha o un rodillo de pelo corto, cuando el primer está todavía fresco (si presente). El estrato de impregnante debe tener de espesor uniforme de aproximadamente 0.50 mm. El ancho de la sección a tratar, debe ser igual al ancho del reforzamiento que se debe aplicar.



Figura 3.19. Procedimiento para la aplicación de fibras de carbono: Paso 11.

- Paso 12. La colocación de las franjas de tejido debe realizarse inmediatamente después de la aplicación de la primera capa de impregnante, teniendo cuidado de colocarlas sin arrugas. Se Deben utilizarse guantes de caucho impermeables.
- Paso 13. Con el fin de facilitar la penetración del impregnante en el tejido, debe utilizarse un rodillo metálico.
- Paso 14. En este punto se realiza la aplicación de una segunda capa de adhesivo epoxi de viscosidad media. El impregnante del tejido debe ser aplicado con una brocha o un rodillo de pelo corto, cuando la capa de adhesivo anterior está todavía fresca. El estrato de impregnante debe tener de espesor uniforme de aproximadamente 0.50 mm. La impregnación puede mejorarse ejerciendo presión en el tejido.
- Paso 15. El rodillo metálico puede pasarse varias veces con el fin de eliminar posibles burbujas de aire generadas durante las fases anteriores y para estirar las fibras en el sentido de su orientación principal.
- Paso 16. Para la aplicación de nuevas capas de tejido, es necesario repetir los pasos 11, 12, 13, 14 y 15 tantas veces como sea necesario de acuerdo con el número de capas especificado. En el caso de traslapes de las franjas en la dirección de la fibra, estos deben ser de al menos 15-20 cm. El rodillo metálico debe ser lavado inmediatamente después de su uso con un diluyente, con el fin de permitir su reutilización. En el caso en el cual se deba detener la aplicación del reforzamiento, debe espolvorearse arena fina en la última capa de adhesivo aplicada, con el fin de asegurar la adecuada adherencia de los estratos siguientes. Este procedimiento puede realizarse manual o mecánicamente. Si se planea la aplicación de capas sucesivas de acabado y/o protección, debe espolvorearse arena en la última capa de adhesivo aplicada, con el fin de asegurar la futura adherencia de los materiales que deben utilizarse cuando la ejecución del reforzamiento haya terminado.



Figura 3.20. Procedimiento para la aplicación de fibras de carbono: Pasos 12 a 16.

Los substratos deben tener una humedad $<4\%$. La aplicación debe ejecutarse con temperaturas entre los 8° y los 35° .

Las siguientes figuras muestran las fases de aplicación de las fibras para de un nudo de viga-columna.

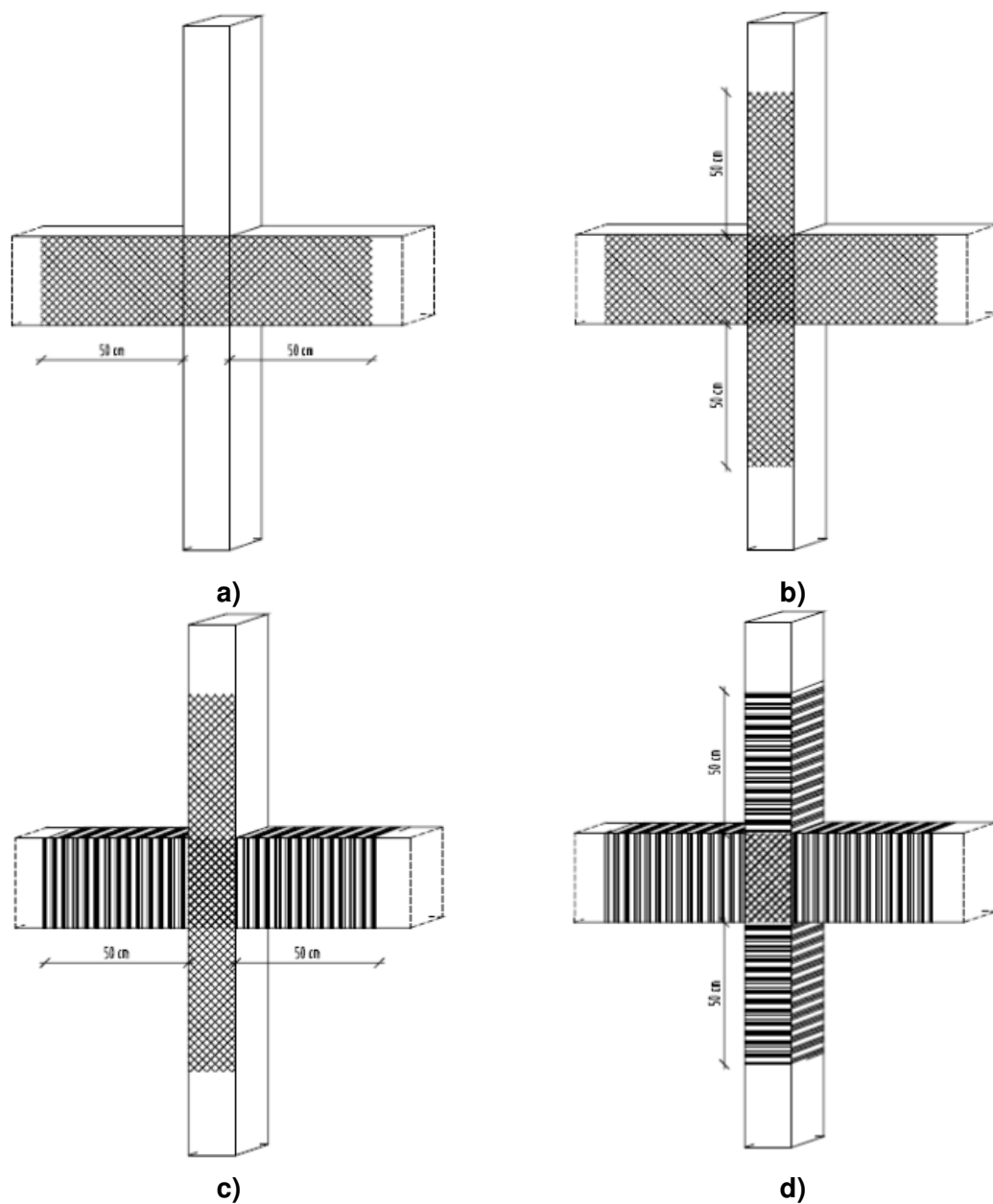


Figura 3.21. Secuencia de aplicación de fibras en un nudo viga columna: a) y b) Aplicación de tejido cuadriaxial en el nudo, vigas y columnas; c) Reforzamiento de vigas con fibras unidireccionales; d) Confinamiento de columnas con fibras unidireccionales.



Figura 3.22. Confinamiento de columnas.



Figura 3.23. Reforzamiento de nudos, vigas y confinamiento de columnas.

3.1.6 Procedimiento para la aplicación de láminas de fibra de carbono CFK pultruidas

El procedimiento para la aplicación de láminas unidireccionales de fibra de carbono CFK pultruidas, recomendadas especialmente para el reforzamiento a flexión de superficies planas de hormigón tales como placas, vigas, muros, consta de los siguientes pasos:

- Paso 1. Eliminación del revoque y/o acabado superficial (en los casos en que sea necesario) y retiro mediante métodos adecuados del hormigón en mal estado (donde se

encuentre presente). La intervención debe extenderse a la totalidad superficie a ser reforzada.

- Paso 2: Limpieza general con el fin de remover eventuales residuos del trabajo realizado en el punto 1. La intervención debe extenderse a la totalidad superficie a ser reforzada +20%.
- Paso 3: Control de la nivelación de la superficie: 5 mm cada 2 metros de longitud.

Nota: Los pasos 4, 5, 6 y 7 deben realizarse sólo cuando sea necesario (observación in situ de las siguientes afectaciones en las partes en las que se aplicara el reforzamiento: agrietamiento y/o daño, estrato superficial y/o profundo de hormigón carbonatado y/o deteriorados). Se resalta que cuando deban usarse morteros o productos de reparación que necesitan ser humedecidos para garantizar su curado, es necesario esperar hasta que estén completamente secos antes de iniciar la aplicación del reforzamiento.

- Paso 4: Tratamiento inhibidor de la corrosión (cuando sea necesario) de las barras de refuerzo existentes, de acuerdo con la en la Sección 3.1.2.1.
- Paso 5: Reparación de grietas estructurales, con materiales adecuados, de acuerdo con las sugerencias de los puntos 3.1.2.2, 3.1.2.3, 3.1.2.4 y 3.1.2.5.
- Paso 6: Reparación del hormigón armado (capa superficial deteriorada), en los casos en los que sea necesario, con la aplicación de morteros tixotrópicos de retracción controlada de acuerdo con las sugerencias de los puntos 3.1.2.6 y 3.1.2.7. Si la reparación superficial se realiza en los bordes de la sección en los que se aplicará el CFRP refuerzo, estos deben redondearse de acuerdo con lo especificado en el punto 3.
- Paso 7: Reconstrucción del hormigón deteriorado (cuando sea necesario) con morteros de retracción compensada de acuerdo con lo dispuesto en el punto 3.1.2.8. Si la reparación superficial se realiza en los bordes de la sección en los que se aplicará el CFRP refuerzo, estos deben redondearse de acuerdo con lo especificado en el punto 3.
- Paso 8: Cuando sea requerido por las especificaciones proporcionadas por el fabricante para la instalación del sistema de reforzamiento CFRP y/o cuando sea indicado por el diseñador para optimizar la adherencia del sistema de reforzamiento CFRP al sustrato de hormigón (mejoramiento de la superficie del elemento en la interfaz hormigón-CFRP) y o en el caso de hormigones sumamente porosos o con tasas de humedad relativa altas, debe realizarse el acabado de la superficie aplicando un primer epoxidico bicomponente fluido con un rodillo o un cepillo. Dicho acabado debe realizarse cuando la superficie de hormigón este limpia y seca. El ancho de la sección a tratar, debe ser igual al ancho del reforzamiento que se debe aplicar +20%.
- Paso 9: Cuando sea requerido por las especificaciones proporcionadas por el fabricante para la instalación del sistema de reforzamiento CFRP y/o cuando sea indicado por el diseñador para optimizar la adherencia del sistema de reforzamiento CFRP al sustrato de hormigón para apoyar a través de la preparación del sustrato (eliminación de las irregularidades presentes en la superficie de hormigón), debe procederse a la nivelación mediante la aplicación de un recubrimiento de estuco epoxi tixotrópico, para la garantizar la uniformidad de la superficie de hormigón. La aplicación del producto se debe realizar sobre el primer todavía fresco (si está presente) con una llana dentada en un espesor de aproximadamente 1-2 mm. Posteriormente, se realizará la nivelación con una llana plana, con el fin de nivelar y uniformizar incluso los más pequeñas irregularidades presentes en la superficie. En esta fase se procederá, utilizando el mismo producto, a redondear (en los casos en que sea necesario) los esquinas y bordes de la sección ($r_{min}=20$ mm). Cuando se encuentren concavidades en el elemento, estas deben también redondearse utilizando el mismo producto ($r_{min}=20$ mm). El ancho de la sección a tratar, debe ser igual al ancho del reforzamiento que se debe aplicar +20%.

- Paso 10. Cortar las láminas de acuerdo lo especificado por el diseñador con un esmeril con hoja de diamante. Las láminas deben conservarse en el sitio de trabajo y ordenados de acuerdo a la secuencia de aplicación, asegurando una protección adecuada contra el polvo.



Figura 3.24. Procedimiento para la aplicación de láminas de fibra de carbono CFK: Paso 10.

- Paso 11. Aplicación sobre el sustrato de la primera capa de adhesivo epoxi tixotrópico con consistencia de estuco en un espesor aproximado de 1-2 mm. El ancho de la sección a tratar, debe ser igual al ancho del reforzamiento que se debe aplicar +20%.



Figura 3.25. Procedimiento para la aplicación de láminas de fibra de carbono CFK: Paso 11.

- Paso 12. Aplicación del adhesivo sobre la lámina con un espesor aproximado de 1-1.5 mm, antes de su colocación sobre el concreto. La lámina debe posicionarse inmediatamente después de la aplicación del adhesivo tanto en el hormigón como en la misma lámina, prestando atención a presionar manualmente las láminas sobre la superficie a reforzar.



Figura 3.26. Procedimiento para la aplicación de láminas de fibra de carbono CFK: Paso 12.

- Paso 13. Presionar la lámina con un rodillo de caucho duro para expulsar el exceso de adhesivo con el fin de evitar burbujas de aire en el interior. El adhesivo en exceso puede retirarse a continuación con una espátula.



Figura 3.27. Procedimiento para la aplicación de láminas de fibra de carbono CFK: Paso 13.

- Paso 14. Para la aplicación de nuevas capas de láminas, deben repetirse los pasos 11, 12 y 13 tantas veces como sea necesario de acuerdo con el número de capas especificado. Debe esperarse hasta que el adhesivo de la capa precedente este seco. Las láminas deben ser cortadas y no pueden sobreponerse en los traslapos. En el caso de que haya necesidad de realizar traslapos, estas deben ser localizadas adecuadamente y debe preverse un traslapo de 50 cm realizado con fibras de carbono unidireccionales del mismo ancho de las láminas. Los traslapos no están permitidos en la mitad de las luces de vigas reforzadas a flexión. Si se planea la aplicación de capas sucesivas de acabado y/o protección, debe aplicarse un último estrato de adhesivo y espolvorear arena sobre la última lámina, con el fin de asegurar la futura adherencia de los materiales que deben utilizarse cuando la ejecución del reforzamiento haya terminado.



Figura 3.28. Procedimiento para la aplicación de láminas de fibra de carbono CFK: Acabado.

Los substratos deben tener una humedad <4%. La aplicación debe ejecutarse con temperaturas entre los 8° y los 35°.



Figura 3.29. Estructuras reforzadas con láminas de fibra de carbono CFK.

3.1.7 Procedimiento para la aplicación de fibras unidireccionales de acero UHTSS de alta resistencia

Para la aplicación de fibras de acero unidireccional de alta resistencia (SRP) con cordones de 5 hilos con matrices de adhesivos epoxi, deben seguirse los siguientes pasos: (para mayor brevedad, se omite el registro fotográfico correspondiente a los pasos 1 a 9 ya que el procedimiento es igual al descrito para las fibras de carbono):

- Paso 1. Eliminación del revoque y/o acabado superficial (en los casos en que sea necesario) y retiro mediante métodos adecuados del hormigón en mal estado (donde se encuentre presente). La intervención debe extenderse a la totalidad superficie a ser reforzada.
- Paso 2. Limpieza general con el fin de remover eventuales residuos del trabajo realizado en el punto 1. La intervención debe extenderse a la totalidad superficie a ser reforzada.
- Paso 3. Redondeado de las esquinas y bordes afilados de la sección de hormigón (columnas, vigas) en las partes en las que se aplicará el reforzamiento SRP (casos típicos: esquinas en el perímetro de elementos a confinar; sección a "U" para el refuerzo a cortante de vigas). El redondeado puede hacerse a mano o mecánicamente con herramientas no vibrantes. Debe garantizarse un radio mínimo (r_{min}) de las esquinas igual a 20 mm.

Nota: Los pasos 4, 5, 6 y 7 deben realizarse sólo cuando sea necesario (observación in situ de las siguientes afectaciones en las partes en las que se aplicara el reforzamiento: agrietamiento y/o daño, estrato superficial y/o profundo de hormigón carbonatado y/o deteriorados). Se resalta que cuando deban usarse morteros o productos de reparación que necesitan ser humedecidos para garantizar su curado, es necesario esperar hasta que estén completamente secos antes de iniciar la aplicación del reforzamiento.

- Paso 4. Tratamiento inhibidor de la corrosión (cuando sea necesario) de las barras de refuerzo existentes, de acuerdo con la en la Sección 3.1.2.1.
- Paso 5. Reparación de grietas estructurales, con materiales adecuados, de acuerdo con las sugerencias de los puntos 3.1.2.2, 3.1.2.3, 3.1.2.4 y 3.1.2.5.
- Paso 6. Reparación del hormigón armado (capa superficial deteriorada), en los casos en los que sea necesario, con la aplicación de morteros tixotrópicos de retracción controlada de acuerdo con las sugerencias de los puntos 3.1.2.6 y 3.1.2.7. Si la reparación superficial se realiza en los bordes de la sección en los que se aplicará el SRP refuerzo, estos deben redondearse de acuerdo con lo especificado en el paso 3.
- Paso 7. Reconstrucción del hormigón deteriorado (cuando sea necesario) con morteros de retracción compensada de acuerdo con lo dispuesto en el punto 3.1.2.8. Si la reparación superficial se realiza en los bordes de la sección en los que se aplicará el SRP refuerzo, estos deben redondearse de acuerdo con lo especificado en el paso 3.
- Paso 8. Cuando sea requerido por las especificaciones proporcionadas por el fabricante para la instalación del sistema de reforzamiento SRP y/o cuando sea indicado por el diseñador para optimizar la adherencia del sistema de reforzamiento CFRP al sustrato de hormigón (mejoramiento de la superficie del elemento en la interfaz hormigón-CFRP) y o en el caso de hormigones sumamente porosos o en lugares de humedad relativa alta, debe realizarse el acabado de la superficie aplicando un primer epoxi bicomponente fluido con un rodillo o un cepillo. Dicho acabado debe realizarse cuando la superficie de hormigón este limpia y seca. El ancho de la sección a tratar, debe ser igual al ancho del reforzamiento que se debe aplicar.
- Paso 9. Cuando sea requerido por las especificaciones proporcionadas por el fabricante para la instalación del sistema de reforzamiento SRP y/o cuando sea indicado por el diseñador para optimizar la adherencia del sistema de reforzamiento SRP al sustrato de hormigón para apoyar a través de la preparación del sustrato (eliminación de las irregularidades presentes en la superficie de hormigón), debe procederse a la nivelación mediante la aplicación de un recubrimiento de estuco epoxi tixotrópico, para la garantizar la uniformidad de la superficie de hormigón. La aplicación del producto se debe realizar sobre el primer todavía fresco (si está presente) con una llana dentada en un espesor de aproximadamente 1-2 mm. Posteriormente, se realizara la nivelación con una llana plana, con el fin de nivelar y uniformizar incluso los más pequeñas irregularidades presentes en la superficie. En esta fase se procederá, utilizando el mismo producto, a redondear (en los casos en que sea necesario) los esquinas y bordes de la sección ($r_{min}=20$ mm). Cuando se encuentren concavidades en el elemento, estas deben también redondearse utilizando el mismo producto ($r_{min}=20$ mm). El ancho de la sección a tratar, debe ser igual al ancho del reforzamiento que se debe aplicar.
- Paso 10. Cortar las franjas de tejido de 30 cm de ancho (utilizando herramientas adecuadas como un esmeril) acuerdo lo especificado por el diseñador. Las franjas deben conservarse en el sitio de trabajo y ordenados de acuerdo a la secuencia de aplicación, asegurando una protección adecuada al contacto con el polvo.



Figura 3.30. Procedimiento para la aplicación de fibras unidireccionales de acero UHTSS: Paso 10.

- Paso 11. Posicionamiento de las franjas de tejido inmediatamente después de la aplicación del primer de nivelación, poniendo especial cuidado en colocarlas sin formar arrugas, utilizando manos protegidas por guantes de goma a prueba de agua.



Figura 3.31. Procedimiento para la aplicación de fibras unidireccionales de acero UHTSS: Paso 11.

- Paso 12. Si es requerido y mediante el uso de las herramientas adecuadas, colocación de clavos metálicos para la fijación del tejido a la superficie de hormigón armado del soporte y para la conservación de su correcta posición durante la ejecución de las subsiguientes capas.



Figura 3.32. Procedimiento para la aplicación de fibras unidireccionales de acero UHTSS: Paso 12.

- Paso 13. Con el fin de facilitar la penetración del impregnante en el tejido, debe utilizarse un rodillo metálico.



Figura 3.33. Procedimiento para la aplicación de fibras unidireccionales de acero UHTSS: Paso 13.

- Paso 14. En este punto se realiza la aplicación de una segunda capa de adhesivo epoxi de consistencia tixotrópica, garantizando que la totalidad del tejido sea cubierta. El impregnante debe ser aplicado con una brocha o un rodillo de pelo corto, cuando la capa de adhesivo anterior está todavía fresco con una llana dentada en un espesor de aproximado de 1-2mm. Nivelación del adhesivo epoxi con una llana plana, con el fin de uniformizar y regular el recubrimiento total del tejido. Debe evitarse el contacto de las fibras de carbono y acero en los casos en que se prevea realizar capas sucesivas con fibra de carbono (CFRP). La impregnación puede mejorarse ejerciendo presión en el tejido.
- Paso 15. El rodillo metálico puede pasarse varias veces con el fin de eliminar posibles burbujas de aire generadas durante las fases anteriores y para estirar las fibras en el sentido de su orientación principal.
- Paso 16. Para la aplicación de las nuevas capas de superposición de la tela, es necesario repetir los pasos 11, 12, 13, 14 y 15 tantas veces como sea necesario de acuerdo con el número de capas especificado. Los traslapes deben ser de al menos 15 a 20 cm. Lavar el rodillo de metal, inmediatamente después de su uso, con diluyentes para permitir su posterior reutilización. Si se va a detener la secuencia de aplicación, debe espolvorearse

arena fina en la última capa de adhesivo aplicada, con el fin de asegurar el futuro adhesión de adhesivos adecuados para el procesamiento posterior a la terminación. La emisora se puede hacer a mano o mecánicamente. Si se espera que la aplicación de capas sucesivas de acabado y/o protección, prever "spagliare" de arena fina en la última capa de adhesivo aplicada, con el fin de asegurar el futuro adhesión de materiales adecuados para el procesamiento posterior a la terminación. La emisora se puede hacer a mano o mecánicamente. 17. Los medios de comunicación deben tener una humedad <4%. aplicación de temperatura de 8 °-35 °

- Paso 17: Para la aplicación de nuevas capas de tejido, es necesario repetir los pasos 10, 11, 12, 13, 14 y 15 tantas veces como sea necesario de acuerdo con el número de capas especificado. En el caso de traslapes de las franjas en la dirección de la fibra, estos deben ser de al menos 15-20 cm. El rodillo metálico debe ser lavado inmediatamente después de su uso, con un diluyente con el fin de permitir su reutilización. En el caso en el cual se deba detener la aplicación del reforzamiento, debe espolvorearse arena fina en la última capa de adhesivo aplicada, con el fin de asegurar la adecuada adherencia de los estratos siguientes. Este procedimiento puede realizarse manual o mecánicamente. Si se planea la aplicación de capas sucesivas de acabado y/o protección, debe espolvorearse arena en la última capa de adhesivo aplicada, con el fin de asegurar la futura adherencia de los materiales que deben utilizarse cuando la ejecución del reforzamiento haya terminado.
- En el caso en el cual se deba detener la aplicación del reforzamiento, debe espolvorearse arena fina en la última capa de adhesivo aplicada, con el fin de asegurar la adecuada adherencia de los estratos siguientes. Este procedimiento puede realizarse manual o mecánicamente. Si se planea la aplicación de capas sucesivas de acabado y/o protección, debe espolvorearse arena en la última capa de adhesivo aplicada, con el fin de asegurar la futura adherencia de los materiales que deben utilizarse cuando la ejecución del reforzamiento haya terminado. En el caso de que se deban colocar capas de reforzamiento adicionales utilizando tejidos diferentes a las fibras metálicas (por ejemplo: fibras de carbono), se debe seguir el procedimiento descrito para este tipo de fibras a partir de la aplicación del primer estrato de adhesivo epoxi.

Paso 18: Los substratos deben tener una humedad <4%. La aplicación debe ejecutarse con temperaturas entre los 8° y los 35 °.

3.2 Daños en muros

La costura de fisuras o afectaciones en muros corresponde a una adecuada alternativa al método de escarificación y reemplazo de material en las zonas afectadas. La costura se recomienda con el fin de garantizar la continuidad estática de la estructura, incluso en el caso en el que sea previsto el reforzamiento utilizando técnicas como FRP o FRCM.

El procedimiento se divide en las siguientes dos fases:

1. Inyección de la fisura;
2. Aplicación de la malla de refuerzo.

3.2.1 Inyección de la fisura

El procedimiento para la inyección de las fisuras debe realizarse por medio de la implementación del siguiente procedimiento:

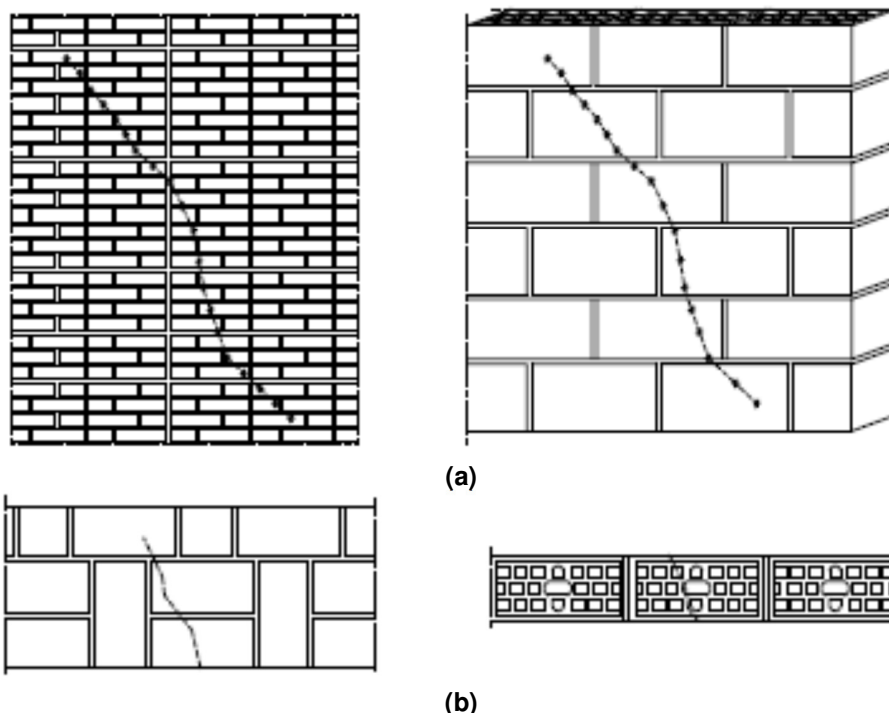


Figura 3.34. Inyección de la fisura: a) Vista en altura; b) Sección transversal.

- Paso 1. Remoción del acabado de la superficie del muro a lado y lado de la zona a intervenir (aproximadamente 50-60 cm). Biselado y apertura de la fisura. Limpieza de la superficie.
- Paso 2. Selección preliminar de los puntos en los que se realizarán las inyecciones de acuerdo con el tipo de muro y con base al nivel de figuración. Estos puntos se colocan en promedio a una distancia de 30 a 50 cm. Ubicar las perforaciones de una manera regular a lo largo de toda la fisura (Figura 3.34).
- Paso 3. Ejecución de las perforaciones de acuerdo con el esquema preestablecido utilizando herramientas mecánicas que no golpeen el hormigón. Las perforaciones deben tener un diámetro de 30 mm y ser perpendiculares a la superficie del muro o ligeramente inclinados.
- Paso 4. Limpieza de las fisuras con compresor de aire.
- Paso 5. Sellado de las juntas entre los bloques de hormigón o de ladrillo y de las fisuras o discontinuidades que puedan conducir a la fuga de la lechada a inyectar, con mortero de cemento con características físico-mecánicas similares al preexistente.
- Paso 6: Colocación de las boquillas o embudos de inyección de plástico flexible de aproximadamente $\phi 20$ mm y longitud de al menos de 10-15 cm en correspondencia con las perforaciones de inyección, sellando con mortero de características físico-mecánicas similares a lo informado en el paso 5. Estos tubos serán retirados después de que se efectúe la inyección.
- Paso 7. Saturación de la parte interior de la estructura de mampostería con inyección de agua a través de los tubos de inyección ya posicionados. De esta manera también se realiza una acción de limpieza con el fin de eliminar el polvo y saturar los materiales existentes que tenderían a deshidratar la mezcla de inyección. Adicionalmente, permite comprobar la existencia de fisuras o lesiones ocultas, gracias a la salida de agua en puntos diversos a los ya identificados. Este procedimiento debe realizarse al menos 24 horas antes de realizar las inyecciones de reparación.
- Paso 8. Preparación de la lechada de inyección de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

- Paso 9: Procediendo de abajo hacia arriba, se realiza la inyección de la lechada a baja presión (menos de 2 bares) o por gravedad en casos particulares, para evitar la formación de presión dentro del muro. La lechada debe realizarse utilizando un aglomerante hidráulico premezclado filerizado y áridos seleccionados. La presión debe mantenerse constante hasta cuando la lechada salga de las perforaciones adyacentes. La inyección debe ejecutarse iniciando de la perforación inferior que después de inyectada, debe ser sellada con cuñas de madera o de corcho, procediendo con la inyección de las perforaciones adicionales.
- Paso 10: Después del endurecimiento de la lechada, se retiran las boquillas y se sellan con morteros de características físico-mecánicas tal como se describe en el paso 5.

En el caso de lesiones que atraviesan el espesor del muro, en función del espesor, longitud y de la gravedad del daño en las caras opuestas, se deben seguir las siguientes indicaciones:

- Para fisuras pasantes de gravedad moderada con forma y longitud similar en ambas caras en muros de espesor ≤ 60 cm, se debe ejecutar el procedimiento descrito en los puntos 1 a 5 para la cara menos afectada mientras que en el lado con mayor afectación (o en caso de igual afectación, en la cara interna) deben ejecutarse los pasos 1 a 10.
- Para lesiones pasantes con fisuras diferentes (forma y longitud) y/o afectación severa y/o espesor del muro ≥ 60 cm, se ejecutarán los trabajos descritos en los puntos 1 a 10 en las dos caras.

La lechada debe poseer las siguientes características:

- Alta fluidez con baja relación agua/aglomerante;
- Características mecánicas, físicas y químicas similares a las de los muros, con el fin de garantizar un comportamiento estructural homogéneo e isotrópico de la estructura reparada
- Alta transpirabilidad;
- Capacidad de penetrar profundamente dando como resultado la saturación de pequeñas grietas o cavidades;
- Ausencia de segregación en el impasto de inyección;
- Contracción reducida.

El procedimiento debe realizarse con temperaturas entre los 5 °C y 35 °C.

3.2.2 Aplicación de la malla de refuerzo

El refuerzo corresponde a un material constituido por los siguientes componentes:

- Malla en red cuadrada balanceada (0°, 90°) en fibra de vidrio, álcali-resistente (AR, con óxido de zirconio >16%) con las siguientes características típicas: red 25x25 mm, gramaje 250 g/m², resistencia a tensión en cada dirección >45 kN/m. Como alternativa puede usarse: red con malla cuadrada balanceada (0°, 90°) en fibra de carbono, malla 15x15 mm, gramaje 170 g/m², resistencia a tensión en cada dirección > 89 kN/m.
- Mortero premezclado fibroreforzado con buena adhesión al sustrato y resistencia entre 15-20 N/mm².

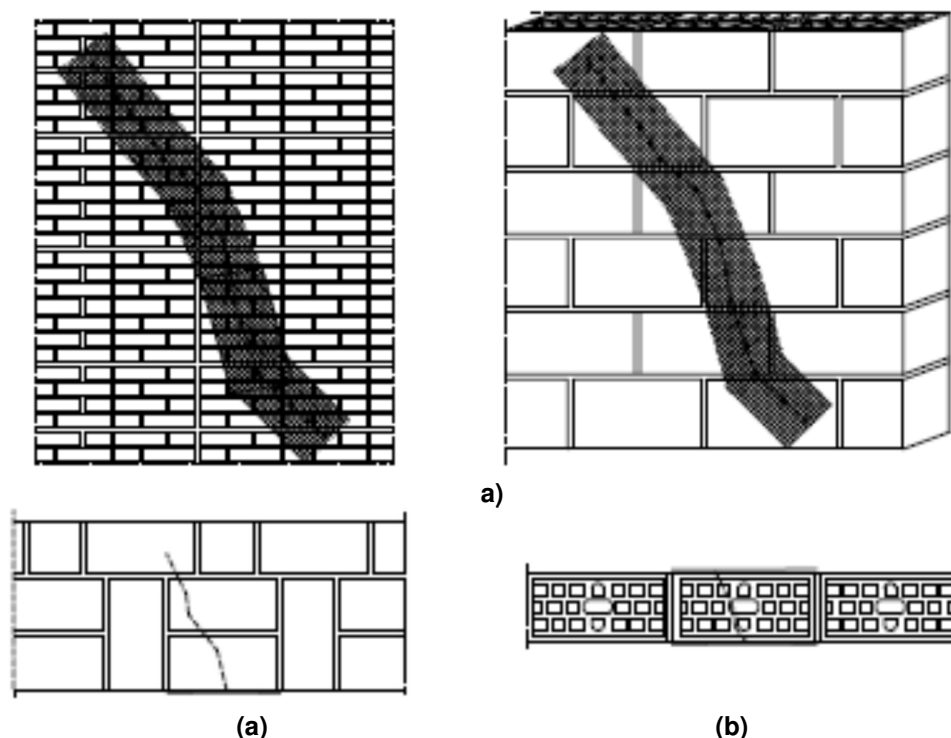


Figura 3.35. Aplicación de la malla de refuerzo: a) Vista en altura; b) Sección transversal de una fisura no pasante; c) Sección transversal de una fisura pasante.

El procedimiento de aplicación de la malla de refuerzo es el siguiente (ver Figura 3.35):

- Paso 1. Preparación local del muro a intervenir: lavado a fondo de la superficie del muro con chorro de agua para eliminar polvo y material adicional, en una zona de ancho 100 cm a lo largo de la fisura. El sustrato, en la zona de intervención, debe saturarse con el fin de evitar la sustracción de agua del mortero que pone en peligro la adherencia.
- Paso 2: Las fibras deben ser cortadas en las dimensiones adecuados y colocadas cerca al sitio de ejecución de los trabajos.



Figura 3.36. Aplicación de la malla de refuerzo: Paso 2.

- Paso 3. Preparación del mortero.
- Paso 4. Se aplica una primera capa de mortero por medio de una espátula plana con un ancho de 70 a 100 cm a lo largo de la fisura. El estrato debe tener un espesor aproximado de 10 mm. Si la superficie del muro, presenta irregularidades importantes que impliquen la nivelación con espesores superiores a 10 mm, deben aplicarse estratos de espesor 10 mm o el recomendado por el fabricante, aplicando el estrato sucesivo cuando el anterior está

aún fresco hasta alcanzar el espesor requerido. En la cara superior del mortero, aún fresco, se dispone la malla presionando ligeramente con una espátula de metal plana para que se adhiera perfectamente al mortero.



Figura 3.37. Aplicación de la malla de refuerzo: Paso 4.

- Paso 5: Aplicación con espátula metálica plana, del segundo estrato uniforme de mortero, cubriendo totalmente la red, con un espesor de 10 mm.



Figura 3.38. Aplicación de la malla de refuerzo: Paso 5.

- Paso 6: Con el fin de cubrir la fisura en la totalidad de su longitud y adaptarse a su geometría, la malla de refuerzo puede ser aplicada en forma de segmentos secuenciales (véase la Figura 3.35), garantizado un traslapo de 15 cm en la zona en que las mallas se encuentran.

En el caso de fisuras pasantes, el procedimiento descrito en los pasos 1, 2 y 3 debe realizarse en ambas caras del muro. El procedimiento debe realizarse con temperaturas entre los 5°C y 35°C.

3.3 Reforzamiento local para cargas verticales

3.3.1 Vigas y placas de hormigón armado

En esta sección se discuten las intervenciones locales para el reforzamiento de vigas y placas de hormigón, utilizando materiales compuestos fibroreforzados con fibras con fibras de carbono, acero UHTSS y láminas CFK pultruidas.

El cálculo y las verificaciones técnicas descritas a continuación pueden efectuarse de acuerdo con los requerimientos especificados en la Guía CNR-DT 200 R1 2014 para materiales compuestos, anexa al presente documento.

3.3.1.1 Refuerzo a flexión de vigas de hormigón armado

Este reforzamiento puede ejecutarse por medio del uso de materiales compuestos con fibras unidireccionales en carbono (CFRP) y acero UHTSS (SRP) y láminas de fibra de carbono CFK pultruidas, dispuestas en la cara inferior del elemento estructural. Si se prevé ejecutar también el reforzamiento a cortante, este último puede ser utilizado como anclaje en los extremos del reforzamiento a flexión (ver Figura 3.39).

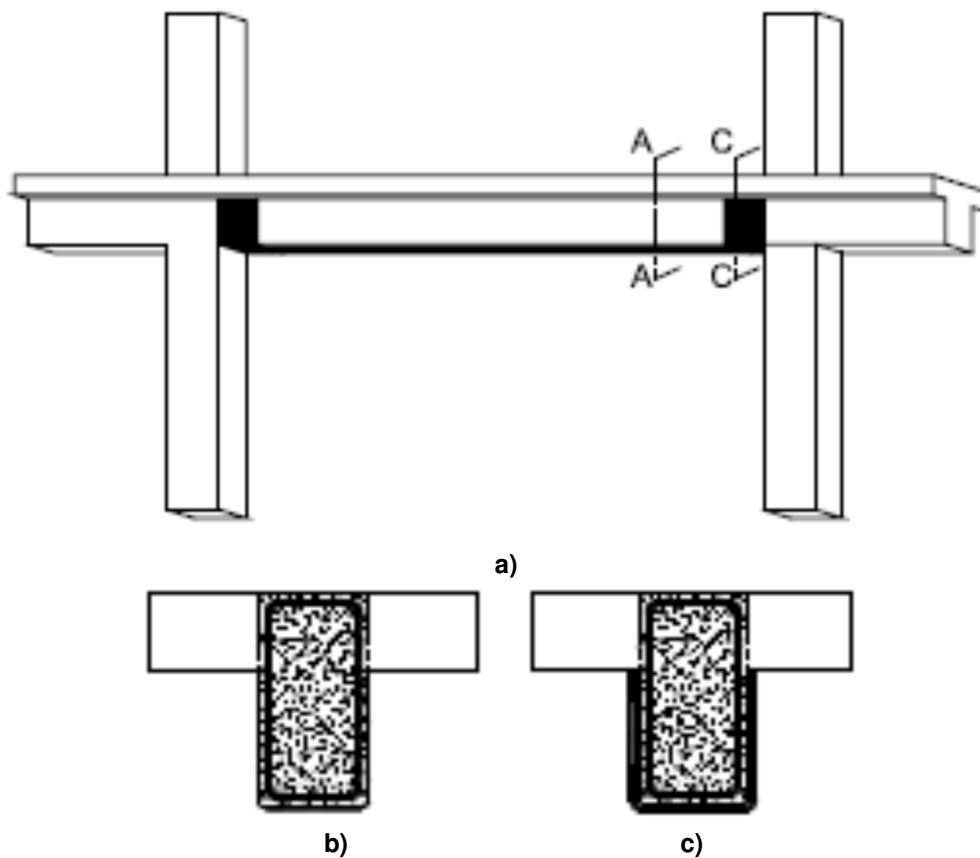


Figura 3.39. Reforzamiento a flexión con materiales compuestos CFRP o SRP de una viga de hormigón armado con anclaje en los extremos: a) Sección longitudinal; b) sección A-A; c) Sección C-C.

3.3.1.2 Reforzamiento a cortante de vigas de hormigón armado

Este reforzamiento puede realizarse utilizando fibras unidireccionales de carbono o de acero. Estas últimas deben ser moldeadas adecuadamente en forma de U. Las fibras deben disponerse paralelamente a la dirección de los estribos, extendiéndolas el máximo posible en la longitud del elemento. El reforzamiento puede aplicarse en franjas discontinuas (Figura 3.40 y Figura 3.41) o continuas (Figura 3.45). Cuando sea posible, se aconseja colocar anclajes tipo abanico en la zona de compresión del reforzamiento (Figura 3.43 y Figura 3.45) o franjas alrededor de toda la sección o realizar el anclaje de las fibras con elementos angulares metálicos (Figura 3.45).



Figura 3.40. Reforzamiento a cortante discontinuo de una viga de hormigón armado perimetral con materiales compuestos CFRP o SRP

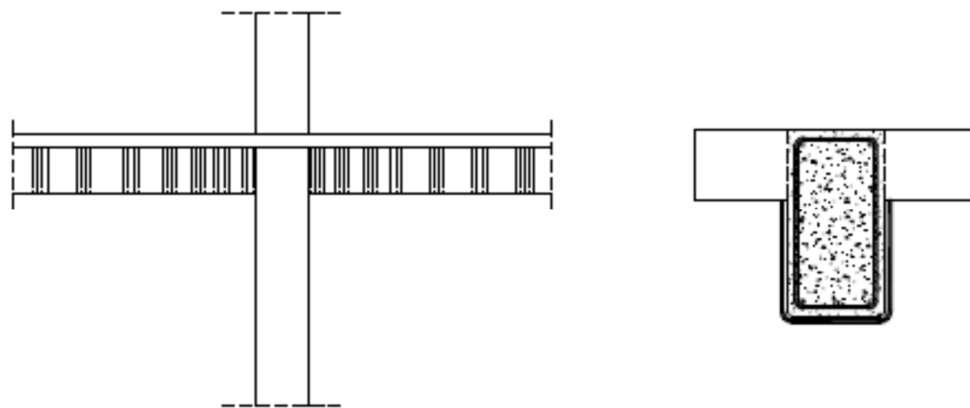


Figura 3.41. Reforzamiento a cortante discontinuo de una viga de hormigón armado interna con materiales compuestos CFRP o SRP, sin anclaje.



Figura 3.42. Reforzamiento a cortante discontinuo de una viga de hormigón sin anclaje.

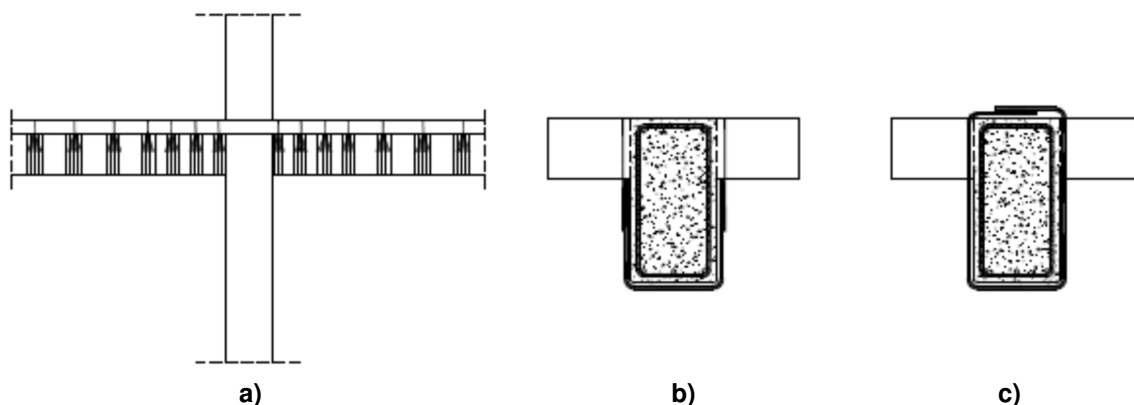


Figura 3.43. Reforzamiento a cortante discontinuo de una viga de hormigón armado interna con materiales compuestos CFRP o SRP, con dos tipologías de anclaje: a) Vista longitudinal; b) conectores en abanico; c) Franjas pasantes con traslape de al menos 20 cm en la parte superior de las vigas.

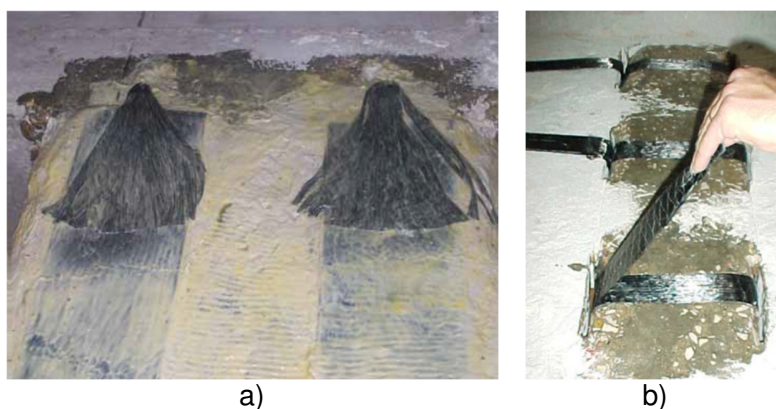


Figura 3.44. Reforzamiento a cortante una viga de hormigón armado: a) conectores en abanico; b) Franjas pasantes en la parte superior de las vigas.

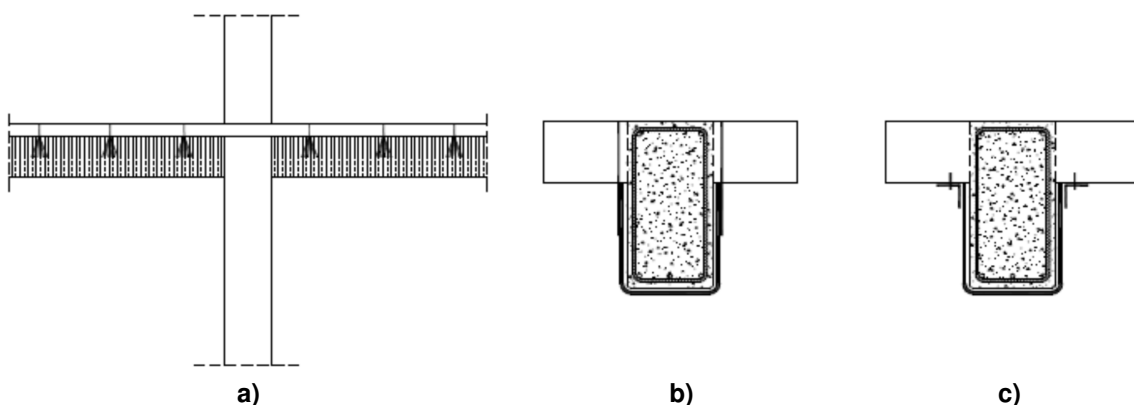


Figura 3.45. Reforzamiento a cortante continuo de una viga de hormigón armado interna con materiales compuestos CFRP o SRP, con dos tipologías de anclaje: a) Vista longitudinal; b) Conectores de fibra en abanico; c) elementos angulares metálicos en la parte inferior de la placa.

3.3.1.3 Refuerzo a flexión de placas en hormigón armado y mixtas

Este reforzamiento puede realizarse con fibras de carbono, acero UHTSS y láminas CFK en la parte inferior de las vigas o nervios de la placa (Figura 3.46, Figura 3.47 y Figura 3.48).

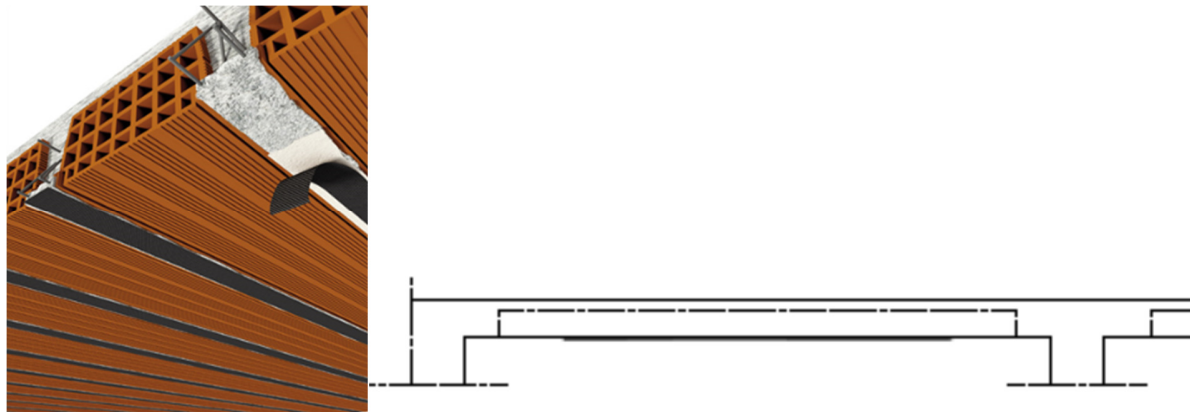


Figura 3.46. Reforzamiento a flexión con materiales compuestos de una placa con viguetas: sección longitudinal.

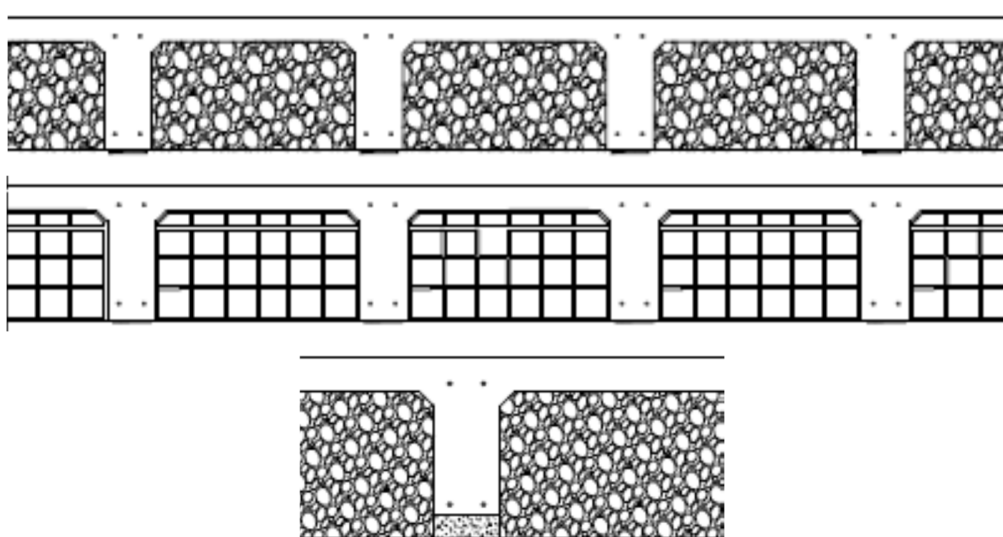


Figura 3.47. Reforzamiento a flexión con materiales compuestos de placas mixtas con viguetas: sección transversal y detalles

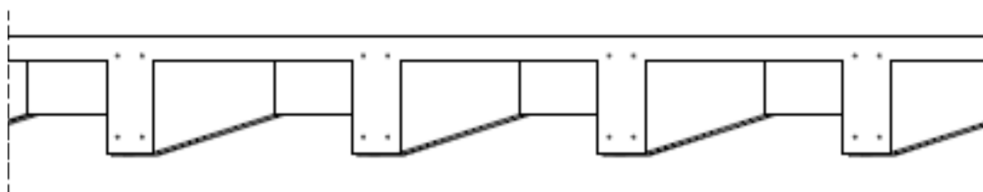


Figura 3.48. Reforzamiento a flexión con materiales compuestos de una placa con viguetas: sección transversal.



Figura 3.49. Reforzamiento a flexión de placas de hormigón armado.

3.3.1.4 Reforzamiento en la parte superior de placas de hormigón armado y mixtas

En numerosas ocasiones, se hace necesario que la intervención de la placa incluya también el reforzamiento de la cara superior y no únicamente la cara inferior, como fue descrito anteriormente.

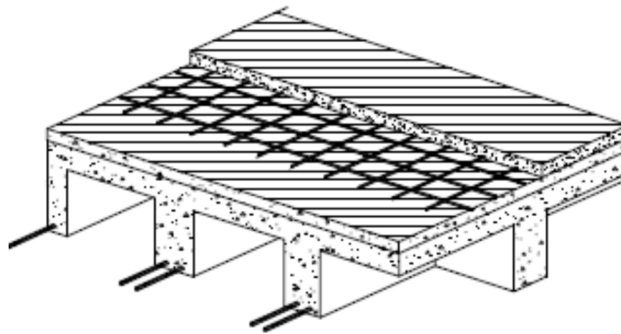


Figura 3.50. Reforzamiento y rigidización superior de placas con fibra de vidrio.

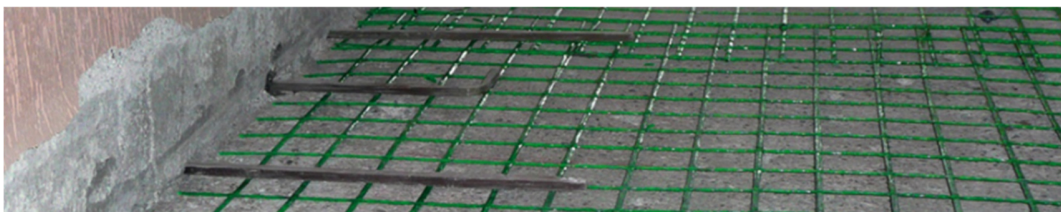


Figura 3.51. Reforzamiento y rigidización superior de placas con fibra de vidrio.

En este caso, debe realizarse en primera medida el reforzamiento de la cara inferior y el apuntalamiento de la placa y posteriormente se procederá a la ejecución del reforzamiento en la cara superior como se describe a continuación:

- Paso 1. Apuntalamiento de la sección de la placa a intervenir;
- Paso 2. Eliminación de los acabados superficiales y del estrato superficial de hormigón deteriorado (si presente) de la cara superior de la placa, mediante el uso de herramientas mecánicas adecuadas (manteniendo el apuntalamiento de la placa);
- Paso 3. En caso de que sea necesario, debe abujardarse, con las herramientas adecuadas, la superficie de concreto con el fin de conseguir la rugosidad del sustrato. Esta intervención debe extenderse sobre toda la superficie a intervenir;
- Paso 4. Ejecución de microsandblasting o de un método equivalente de limpieza en seco. Esta intervención debe extenderse sobre toda la superficie a intervenir;
- Paso 5. Tratamiento (si es necesario) de la armadura original de la parte superior de la placa de hormigón original para la inhibición de la corrosión con tratamiento de pasivación (ver 3.1.2.1);
- Paso 6. Limpieza y eliminación de cualquier residuo de las actividades anteriores. Esta intervención debe extenderse sobre toda la superficie a intervenir.
- Paso 7. Colocación de la armadura complementaria en la parte superior de la losa, típicamente compuesta de una malla cuadrada de 99x99 mm en GFRP (polímero reforzado con fibra de vidrio), compuesta por varillas de fibra de vidrio resistentes a los álcalis, impregnadas con resina termoestable tipo epoxi, de 3 mm de diámetro y resistencia por dirección $> 40 \text{ kN/m}$. En la formación de la red, las barras en las dos direcciones son colocadas ortogonalmente con el fin de obtener una malla monolítica. Los traslapes deben ser de al menos 15 cm. La malla en GFRP, como alternativa a la malla de acero, presenta varias ventajas, incluyendo la reducción de peso, resistencia a la corrosión y durabilidad. La malla debe disponerse en la totalidad del área a intervenir;
- Paso 8. Aplicación, en caso de ser requerido, de un promotor de adhesión entre coladas de hormigón sucesivas, mediante brocha, espátula o aspersión. Debe usarse un adhesivo epoxi, de viscosidad media a base de agua, capacidad de adherencia $> 2 \text{ MPa}$ y que cumpla con los requisitos prestacionales especificados por las normas nacionales o internacionales vigentes. Esta intervención debe extenderse sobre toda la superficie a intervenir.
- Paso 9. Colocación del hormigón adicional para la construcción de la nueva sección de concreto en la parte superior de la losa. En el caso de uso de promotor de adhesión, la colocación debe realizarse cuando la resina este todavía fresca. La losa nueva debe realizarse con un hormigón ligero estructural de resistencia adecuada. La nueva losa tendrá un espesor típicamente igual a 5 cm. La losa debe extenderse en la totalidad del área a intervenir. En el caso de limitaciones del espesor adicional a colocar (plaqueta + mortero de nivelación, etc.) debido a la altura libre entre placas, la nueva placa integrativa puede realizarse con un espesor de 2-3 cm con morteros premezclados o micro hormigones fluidos a base de ligantes hidráulicos especiales con retracción controlada. El producto debe cumplir con los requisitos de desempeño de establecidos en normas nacionales e internacionales.

A modo de ejemplo, los morteros u hormigones utilizados para este tipo de intervenciones deben tener como mínimo las siguientes características de funcionamiento:

- Densidad del impasto: 2.100 kg/m^3
- Resistencia a la compresión a 28 días $> 45 \text{ N/mm}^2$
- Resistencia a flexión a 28 días $> 9 \text{ N/mm}^2$
- Remoción del apuntalamiento de la placa.

La intervención debe efectuarse con temperaturas entre los 5 °C y 35 °C.

3.3.1.5 Rigidización de losas de hormigón armado y mixtas

Con el fin de rigidizar en su propio plano las losas de hormigón débilmente armado (la misma técnica también se puede utilizar para placas de madera) con el fin de permitir una mejor distribución de las esfuerzos en los muros y las estructuras en zonas de riesgo sísmico, se propone además del procedimiento descrito en la sección anterior, la aplicación de franjas de CFRP y SRP en el plano de la placa con anclajes adecuados en los muros perimetrales (Ver Capítulo 5). Para las características de las franjas en CFRP y acero UHTSS ver la sección 3.1.4.



Figura 3.52. Aplicación de franjas de CFRP o SRP en losas de hormigón, ancladas a los muros perimetrales.

4 INTERVENCION EN MUROS DE FACHADA Y DIVISORIOS

4.1 Muros de fachada y divisorios

Las conexiones entre los muros de fachada, divisorios y marcos estructurales se pueden hacer con diferentes técnicas, que incluyen el uso de materiales reforzados con fibras y conectores de anclaje. En el presente procedimiento se incluyen ladrillos con huecos en arcilla o cemento y ladrillos macizos.

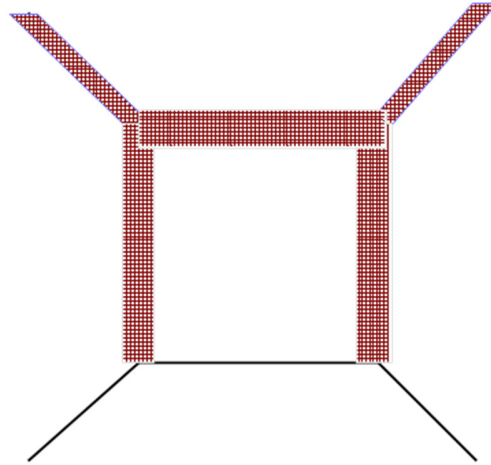


Figura 4.1. Esquema de conexión para elementos no estructurales

4.1.1 Conexión de muros perimetrales a vigas y columnas

La conexión debe realizarse de la siguiente manera:

- Paso 1. Remoción del acabado existente a lo largo de las caras perimetrales en las que se realizara el anclaje para muros de fachada, por un ancho de 50 cm.

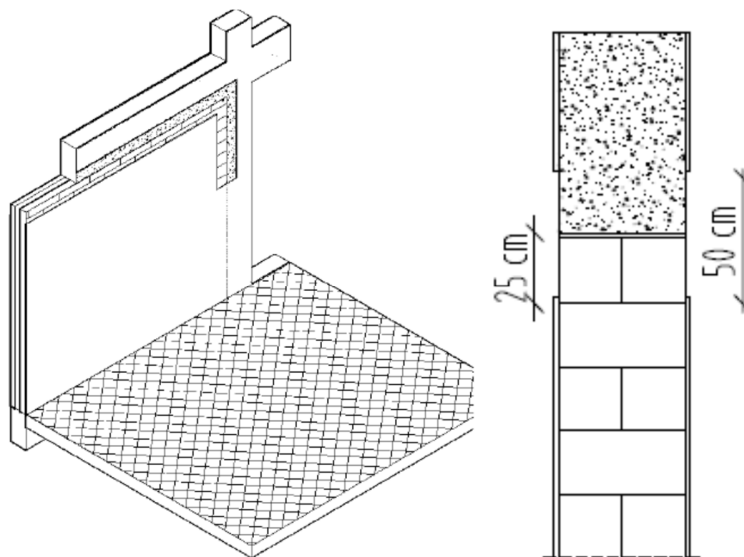


Figura 4.2. Conexión de muros perimetrales a vigas y columnas: Paso 1.

- Paso 2. Remoción del acabado existente a lo largo de las caras perimetrales en las que se realizara el anclaje para muros divisorios y de fachada, por un ancho de 50 cm.

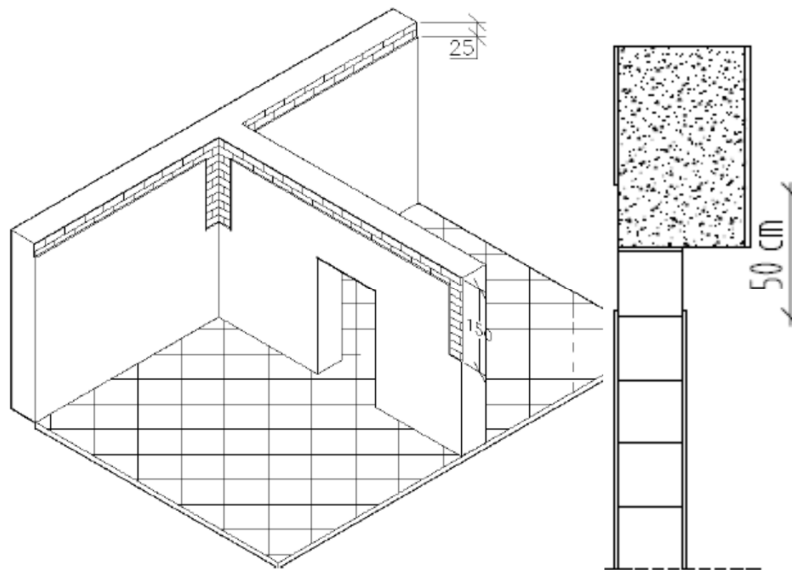


Figura 4.3. Conexión de muros perimetrales a vigas y columnas: Paso 2.

- Paso 3. Perforación del muro y sellado temporal del mismo. La perforación normalmente atraviesa el espesor total del muro. En los casos en los que se efectuó la intervención en un solo lado o en muros con ladrillo macizo de gran espesor, la profundidad del agujero debe ser de al menos 15 cm. El diámetro de la perforación generalmente es de 16-18 mm, espaciados aproximadamente 100 cm.

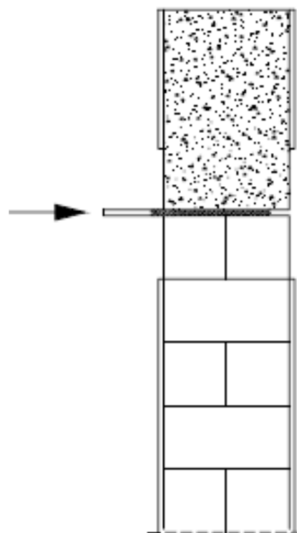


Figura 4.4. Conexión de muros perimetrales a vigas y columnas: Paso 3.

- Paso 4. Aplicación de la primera capa de mortero de mampostería de buena ductilidad y resistencia a la compresión 15-20 N/mm² y de una malla cuadrada bidireccional (0°, 90°) en fibra de vidrio AR resistente a los álcalis (con óxido de circonio > 16 %) y con las

siguientes características: malla 25x25 mm, gramaje 250 g /m², resistencia a la tensión por sentido > 45 kN /m. La malla debe ser sumergida en el mortero fresco.

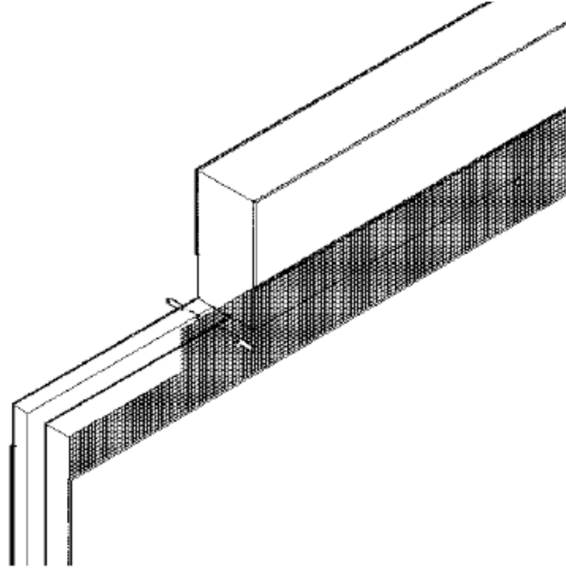


Figura 4.5. Conexión de muros perimetrales a vigas y columnas: Paso 4.

- Paso 5. Inserción de conectores de fibra de acero UHTSS y diámetro 10-12 mm y con apertura de 20 cm en cada lado fijados por adhesivo epoxi y polvo de cuarzo. Pueden usarse también barras rígidas con apertura en los extremos con fibras en abanico (Ver sección 5.1.3.1).

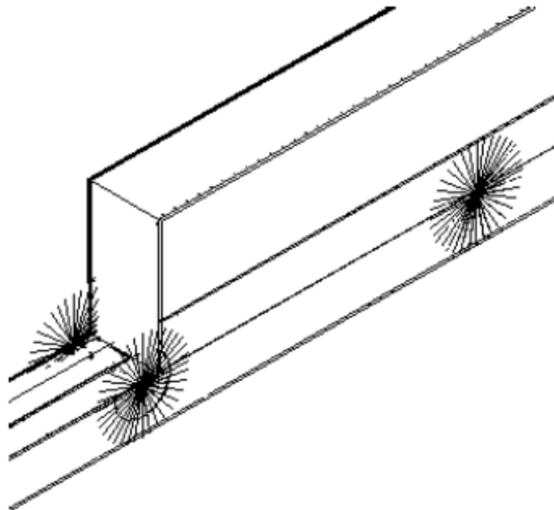


Figura 4.6. Conexión de muros perimetrales a vigas y columnas: Paso 5.

- Paso 6. Aplicación del segundo estrato de mortero.

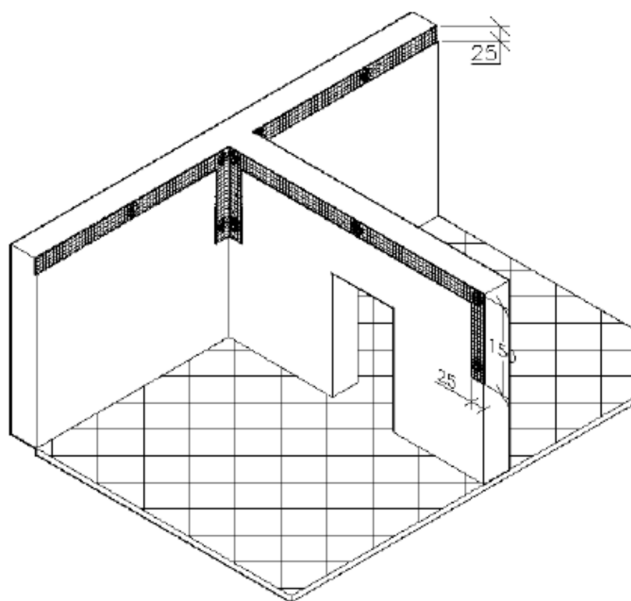


Figura 4.7. Conexión de muros perimetrales a vigas y columnas: Paso 6.

4.1.1.1 Procedimiento para la ejecución de conexiones perimetrales a vigas y columnas

El procedimiento debe efectuarse en los siguientes pasos:

- Paso 1. Remoción del acabado existente a lo largo de las caras perimetrales en las que se realizara el anclaje, por un ancho de 50 cm entre los muros y las vigas. Remoción del acabado existente en los puntos de conexión de esquina. Remoción de polvo en la superficie y lavado con agua a baja presión con el fin de tener una superficie húmeda antes de la ejecución de los pasos siguientes (Figura 4.8)
- Paso 2. Perforación del muro con un diámetro de 16 mm, atravesándolo totalmente. Las perforaciones deben estar separadas un metro aproximadamente, disponiendo de perforaciones en las secciones de conexión entre viga y columna. Sellamiento temporal de la perforación, por medio de un marcador extraíble, para evitar que el mortero (que se aplicara posteriormente) penetre las perforaciones y para permitir su identificación posterior. (Figura 4.9)
- Paso 3a. Aplicación del primer estrato de mortero de mampostería de buena ductilidad y resistencia 15-20 N/mm² de acuerdo con la normativa nacional e internacional, sobre la superficie a intervenir, con un espesor de 10 mm.
- Paso 3b. Colocación de la malla cuadrada balanceada (0°, 90°) en fibra de vidrio AR álcali resistente (con óxido de zirconio >16%) en fibra de vidrio AR resistente a los álcalis (con óxido de circonio > 16%) y con las siguientes características: malla 25x25 mm, gramaje 250 g/m², resistencia a la tensión por sentido > 45 kN / m. La malla debe ser aplicada sobre la totalidad del área a intervenir, poniendo especial atención en lograr la penetración del mortero fresco apenas aplicado al interior de la red de la malla. La malla debe colocarse de tal manera que se permita que los marcadores pasen dentro de red de la malla (sin afectar la malla) (Figura 4.10).
- Paso 4. Cuando el estrato superior de mortero este ya seco, el conector, previamente cortado a la medida, debe impregnarse en su parte central con una pasta epoxi (longitud igual al espesor de la pared) y ser rociado con arena de cuarzo fina y seca, con el fin de obtener un elemento impregnado y rígido. El conector debe tener una longitud igual a 20 cm + espesor del muro + 20 cm. La parte central impregnada será aproximadamente 2 cm

más corto que el espesor del muro para permitir la correcta conformación de las fibras cuando deben generarse los abanicos de conexión. La pared de los orificios debe ser cubierta con un primer utilizando un cepillo. A continuación deben rellenarse con masilla epoxi. Se procede a la inserción del conector, garantizando que la parte rígida quede dentro del interior del muro y a la impregnación con relleno de epoxi de las partes exteriores (abiertas en abanico). Se aconseja aplicar sobre el abanico un cuadrado de fibra de vidrio de 20x20 cm fijado con masilla epoxi y espolvorear arena de cuarzo fina y seca cuando el epoxi esta aún fresco con el fin de optimizar las capas de acabado subsecuentes (pañete, pintura, etc.) (ver Figura 4.11). Alternativamente al procedimiento descrito, dependiendo del tipo de mampostería y a discreción del diseñador, pueden utilizarse conectores de fibra de vidrio en vez de los de acero siguiendo los pasos anteriormente descritos o una barra de basalto unida a fibra de vidrio en abanico (Ver Capítulo 5).

- Paso 5. Aplicación de un segundo estrato de malta del espesor necesario y en la totalidad de la superficie sobre la cual se ha aplicado la fibra de vidrio y los anclajes (ver Figura 4.12).

El procedimiento debe ejecutarse con temperaturas entre 8°C y 35°C.

4.1.2 Procedimiento para la conexión perimetral a losas y columnas

El procedimiento debe realizarse mediante la ejecución de los siguientes pasos:

- Paso 1. Remoción del acabado existente a lo largo de las caras perimetrales de anclaje
- Paso 2: Perforación del muro y sellado temporal de los orificios. La perforación normalmente atraviesa el espesor total del muro pero debe ser al menos de 15 cm en muros de gran espesor. El diámetro de la perforación generalmente es de 16-18 mm, espaciados aproximadamente 100 cm.
- Paso 3. Aplicación del primer estrato de mortero de albañilería de buena ductilidad y resistencia 15-20 N/mm², en cumplimiento con la normativa nacional e internacional, y de malla cuadrada balanceada (0°, 90°) en fibra de vidrio AR álcali resistente (con óxido de zirconio >16%) con las siguientes características típicas: malla 25x25 mm, gramaje 250 g/m², resistencia a la tracción en cada dirección > 45 kN/m. La malla debe ser sumergida en el mortero fresco.
- Paso 4. Inserción del conector de fibra de acero UHTSS de diámetro 10-12 mm y abanico exterior de 20 cm con fijación mediante una pasta adhesiva epoxi y espolvoreamiento de cuarzo. Como alternativa se pueden usar barras rígidas con fibras en abanico en los extremos (Ver sección 5.1.3.1).
- Paso 5: Aplicación del segundo estrato de mortero de albañilería de buena ductilidad y resistencia entre 15-20 N/mm², en cumplimiento con la normativa nacional e internacional.

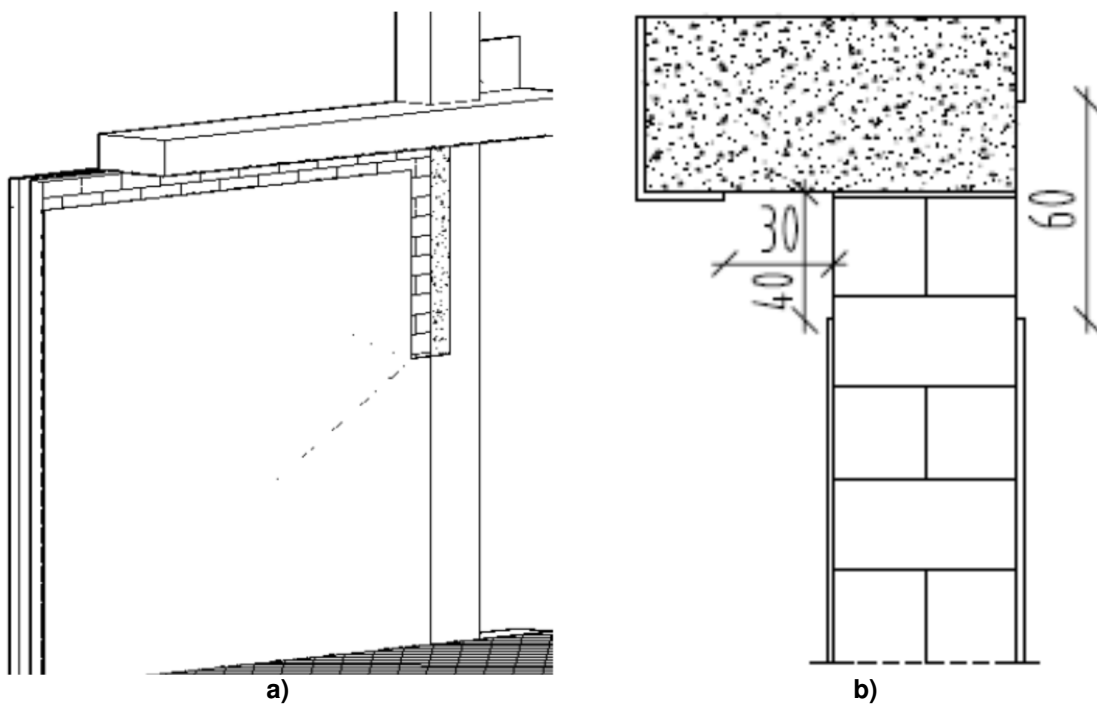


Figura 4.8. Conexión perimetral a placas y columnas: Paso 1. a) Vista tridimensional; b) Sección transversal.

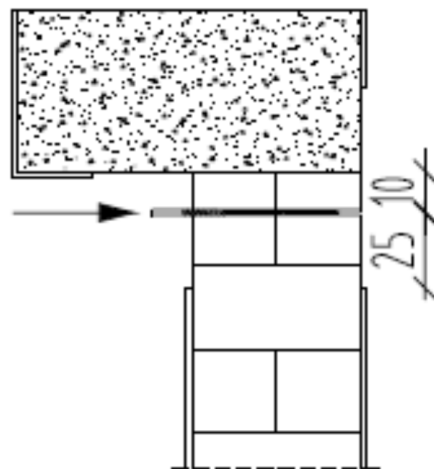


Figura 4.9. Conexión perimetral a placas y columnas: Paso 2.

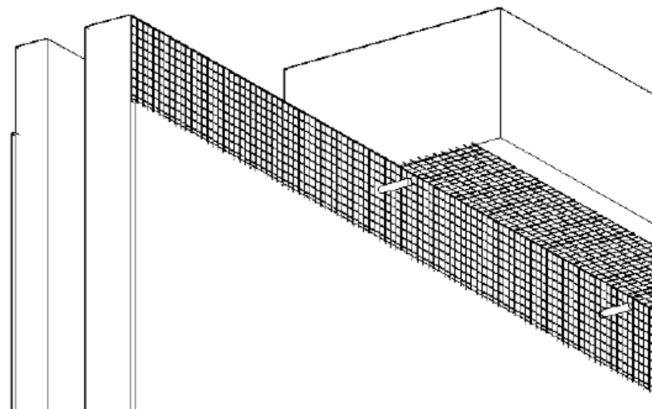


Figura 4.10. Conexión perimetral a placas y columnas (vista tridimensional): Paso 3.

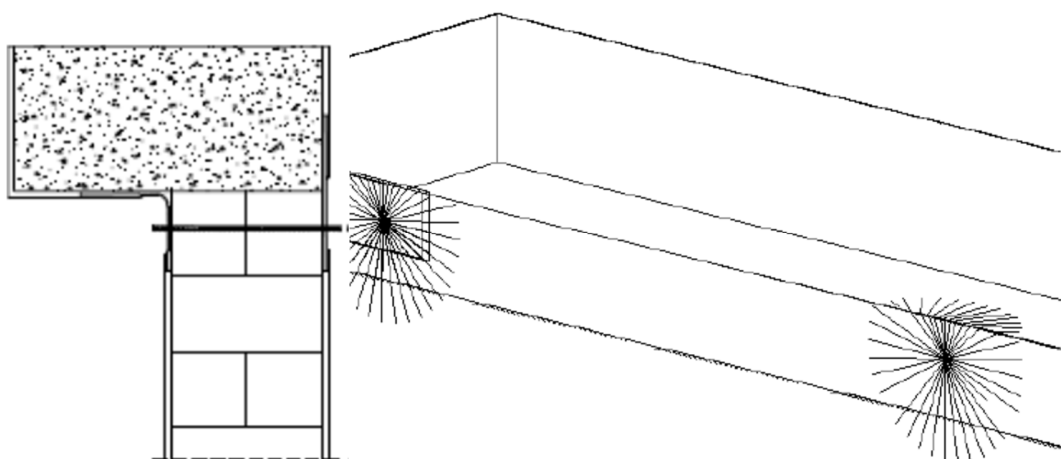


Figura 4.11. Conexión perimetral a placas y columnas (vista tridimensional): Paso 4.

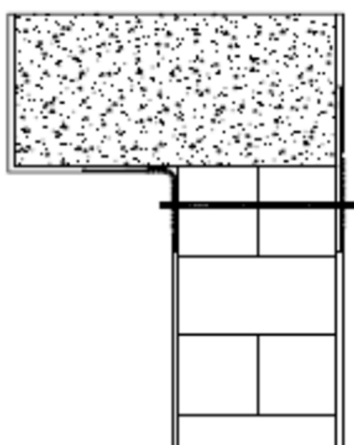


Figura 4.12. Conexión perimetral a placas y columnas (vista tridimensional): Paso 5.

4.1.2.1 Conexiones perimetrales a columnas y vigas con espesor igual a la placa de piso

La conexión debe realizarse por medio de la ejecución de los siguientes pasos:

- Paso 1. Remoción del acabado existente a lo largo de las caras perimetrales con el fin de conformación una sección a L con lado igual a 35 cm en el lado del muro y de 30 cm en el lado de la placa. Remoción del acabado existente en las zonas de esquina. Remoción del polvo de las superficies tratadas y lavado con agua a baja presión en modo de tener la superficie húmeda antes del inicio de los trabajos sucesivos (ver Figura 4.13).



Figura 4.13. Conexiones perimetrales a columnas y vigas con espesor igual a la placa de piso: Paso 1.

- Paso 2. Perforación del muro, atravesándolo totalmente con un diámetro no inferior a 16 mm, en la zona de junta entre el muro y la placa. Las perforaciones deben estar separadas un metro aproximadamente, disponiendo de perforaciones en las secciones de conexión entre viga y columna. Sellamiento temporal de la perforación, por medio de un marcador extraíble, para evitar que el mortero (que se aplicara posteriormente) penetre las perforaciones y para permitir su identificación posterior.
- Paso 3a. Aplicación del primer estrato de mortero de mampostería de buena ductilidad y resistencia 15-20 N/mm² de acuerdo con la normativa nacional e internacional, sobre la entera superficie en “L” superficie a intervenir, con un espesor de 10 mm. La zona de Angulo debe redondearse con el fin de tener un diámetro de curvatura no inferior a 2 cm (ver Figura 4.14).



Figura 4.14. Conexiones perimetrales a columnas y vigas con espesor igual a la placa de piso: Paso 3a.

- Paso 3b. Colocación de la malla cuadrada balanceada (0°, 90°) en fibra de vidrio AR álcali resistente (con óxido de zirconio >16%) en fibra de vidrio AR resistente a los álcalis (con óxido de circonio > 16 %) y con las siguientes características: malla 25x25 mm, gramaje 250 g / m², resistencia a la tensión por sentido > 45 kN/ m. La malla es apretada con el fin de mejorar la capacidad de adhesión y engranaje con la malta. La malla debe ser aplicada sobre la totalidad del área a intervenir, poniendo especial atención en lograr la penetración

del mortero fresco apenas aplicado al interior de la red de la malla. La malla debe colocarse de tal manera que permita que los marcadores pasen dentro de red de la malla (sin afectar la malla) (Figura 4.15).



Figura 4.15. Conexiones perimetrales a columnas y vigas con espesor igual a la placa de piso: Paso 3b.

- Paso 4. Cuando el estrato de mortero este ya seco, el conector, previamente cortado a la medida, debe impregnarse en su parte central con una pasta epoxi (longitud igual al espesor de la pared) y ser rociado con arena de cuarzo fina y seca, con el fin de obtener un elemento impregnado y rígido. El conector debe tener una longitud igual a $20\text{ cm} + \text{espesor del muro} + 20\text{ cm}$. La parte central impregnado será aproximadamente 2 cm más corto que el espesor del muro para permitir la correcta conformación (attondatura) de las fibras cuando deben generarse los abanicos de conexión. La pared de los orificios debe ser cubiertas con un primer utilizando un cepillo. A continuación deben cubrirse con estuco epoxi. Inserción del conector, garantizando que la parte rígida quede dentro del interior del muro. Impregnación con relleno de epoxi de las partes exteriores (abiertas en abanico). Se aconseja aplicar sobre el abanico un cuadrado de fibra de vidrio de $20 \times 20\text{ cm}$ fijado con masilla epoxi y espolveramiento de arena de cuarzo fina y seca cuando el epoxi esta aún fresco con el fin de optimizar las capas de acabado subsecuentes (estuco, pintura, etc.) (Figura 4.16). Alternativamente al procedimiento descrito y dependiendo del tipo de mampostería y a discreción del diseñador, pueden utilizarse conectores de fibra de vidrio en vez de los de acero (Ver sección 5.1.2) siguiendo los pasos anteriormente descritos o una barra de basalto (sección 5.1.3) unida a fibra de vidrio en abanico.



Figura 4.16. Conexiones perimetrales a columnas y vigas con espesor igual a la placa de piso: Paso 4.

- Paso 5. Aplicación de un segundo estrato de malta del espesor necesario y en la totalidad de la superficie sobre la cual se ha aplicado la fibra de vidrio y los anclajes (Ver Figura 4.17).



Figura 4.17. Conexiones perimetrales a columnas y vigas con espesor igual a la placa de piso: Paso 5.

La temperatura de aplicación debe estar entre 8°C y 35°C.

4.2 Reforzamiento de muros

Para las paredes externas no estructurales o portantes y para los muros divisorios internos en bloque de cemento o ladrillos de arcilla, el reforzamiento ante fuerzas en el plano del muro o fuera del mismo, puede realizarse mediante el uso de morteros estructurales reforzados con fibras (sistema llamado FRCM o TRM) o también con las técnicas FRP- SRP ya tratadas en el capítulo 3. Se observa que al tratarse de muros, el empleo del sistema FRCM se convierte en una técnica particularmente interesante, ya que muros permanecen perfectamente transpirables, se puede aplicar mucho más fácilmente en superficies irregulares y húmedas y presenta una buena resistencia al fuego al contrario de los sistemas FRP/SRP que requieren una protección adecuada contra el fuego, en los casos en los que esta se requiere (Ver Capítulo 7).

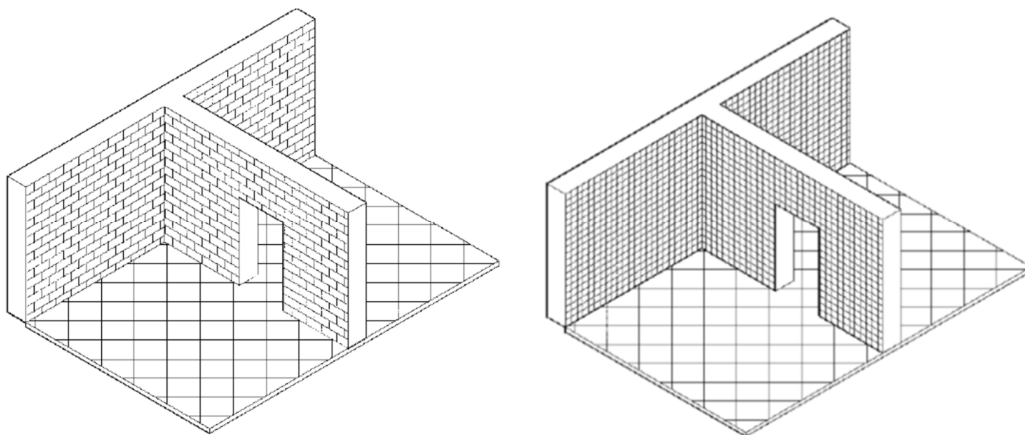
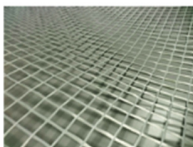


Figura 4.18. Reforzamiento de muros portantes y no estructurales internos o externos.

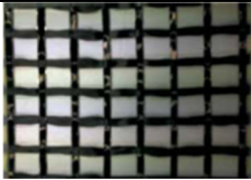
Las principales mallas que se utilizan para el reforzamiento de muros de mampostería son en vidrio AR (óxido de zirconio resistente a los álcalis >16%), carbono bidireccional y acero galvanizado unidireccional UHTSS (este último dispuesto en bandas de acuerdo con las especificaciones de diseño). Los morteros son de tipo estructural con resistencia a la compresión de 15 a 20 N/mm² y buena ductilidad y adhesión al sustrato.

Las principales características de las mallas en fibra y los tejidos de acero UHTSS son:

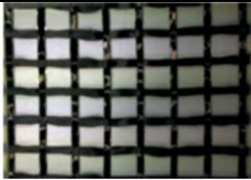
4.2.1.1 Malla en fibra de vidrio AR (Álcali resistente con oxido de Zirconio >16%)

Característica	Valor		Presentación
Gramaje (g/m²)	250 – 300		
Dimensión de la cuadrícula (cm)	25x25	40x40	
Resistencia en cada dirección (kN/m)	>45	>55	
Modulo elástico (MPa)	70000		
Deformación unitaria (%)	3.0		


4.2.1.2 Malla en vidrio apretada álcali resistente

Característica	Valor	Presentación
Gramaje (g/m ²)	350	
Dimensión de la cuadrícula (cm)	16.5x16.5	
Resistencia en cada dirección (kN/m)	>65	
Modulo elástico (MPa)	70000	
Deformación unitaria (%)	4.0	

4.2.1.3 Malla en carbono

Característica	Valor	Presentación
Gramaje (g/m ²)	170	
Dimensión de la cuadrícula (cm)	15x15	
Resistencia en cada dirección (kN/m)	>89	
Módulo elástico (MPa)	240000	
Deformación unitaria (%)	1.8	

4.2.1.4 Tejido en acero galvanizado UHTSS unidireccional

Característica	Valor		Presentación
Gramaje (g/m²)	700	2200	
Ancho de las franjas(cm)	30	30	
Resistencia en cada dirección (kN/m)	>215	>680	
Modulo elástico (MPa)	190000		
Deformación unitaria (%)	>1.78		

4.2.2 Procedimiento para el reforzamiento de muros con mallas y mortero

El procedimiento debe realizarse de la siguiente manera:

- Paso 1. Remoción del acabado existente. Remoción del polvo de las superficies tratadas y lavado con agua a baja presión en modo de tener la superficie húmeda antes del inicio de los trabajos sucesivos.

- Paso 2. Perforación del muro, atravesándolo totalmente con un diámetro no inferior a 16 mm. En el caso de muros de gran espesor, pueden perforarse de un solo lado, con una profundidad mínima de 15 cm, con herramientas que no golpeen el hormigón. Las perforaciones deben estar separadas 50 cm aproximadamente, disponiendo al menos 3-4/m². Sellamiento temporal de la perforación, por medio de un marcador extraíble, para evitar que el mortero (que se aplicará posteriormente) penetre las perforaciones y para permitir su identificación posterior.
- Paso 3a. Aplicación del primer estrato de mortero de mampostería de buena ductilidad y resistencia 15-20 N/mm² de acuerdo con la normativa nacional e internacional, sobre la entera superficie en “L” superficie a intervenir, con un espesor de 10 mm. La zona de ángulo debe redondearse con el fin de tener un diámetro de curvatura no inferior a 2 cm.
- Paso 3b. Colocación de la malla cuadrada balanceada (0°, 90°) en fibra de vidrio AR álcali resistente (con óxido de zirconio >16%) en fibra de vidrio AR resistente a los álcalis (con óxido de circonio > 16 %) y con las siguientes características: malla 25x25 mm o 40x40mm, gramaje 250 o 300 g/m², resistencia a la tensión por sentido > 45 kN / m o > 55 kN/m, respectivamente. La malla es apretada con el fin de mejorar la capacidad de adhesión y engranaje con la malta. La malla debe ser aplicada sobre la totalidad del área a intervenir, poniendo especial atención en lograr la penetración del mortero fresco apenas aplicado al interior de la red de la malla. La marca debe colocarse de tal manera que se permita que los marcadores pasen dentro de red de la malla (sin afectar la malla).
- Paso 4. Cuando el estrato superior de mortero este ya seco, el conector, previamente cortado a la medida, debe impregnarse en su parte central con una pasta epoxi (longitud igual al espesor de la pared) y ser rociado con arena de cuarzo fina y seca, con el fin de obtener un elemento impregnado y rígido. El conector debe tener una longitud igual a 20 cm + espesor del muro + 20 cm. La parte central impregnado será aproximadamente 2 cm más corto que el espesor del muro para permitir la correcta conformación de las fibras cuando deben generarse los abanicos de conexión. La pared de los orificios debe ser cubiertas con un primer utilizando un cepillo. A continuación deben cubrirse con estuco epoxi. Inserción del conector, garantizando que la parte rígida quede dentro del interior del muro. Impregnación con relleno de epoxi de las partes exteriores (abiertas en abanico). Se aconseja aplicar sobre el abanico un cuadrado de fibra de vidrio de 20x20 cm fijado con masilla epoxi y espolveramiento de arena de cuarzo fina y seca cuando el epoxi esta aún fresco con el fin de optimizar las capas de acabado subsecuentes (estuco, pintura, etc.). Alternativamente al procedimiento descrito y dependiendo del tipo de mampostería y a discreción del diseñador, pueden utilizarse conectores de fibra de vidrio en vez de los de acero (ver sección 5.1.2) siguiendo los pasos anteriormente descritos o una barra de basalto (ver sección 5.1.3) unida a fibra de vidrio en abanico o conectores en aramida. Dependiendo del tipo de mampostería y, a discreción del diseñador y con el fin de obtener una mayor capacidad a cortante, se pueden emplear el tejido de acero galvanizado UHTSS con conectores, siguiendo el mismo procedimiento descrito en los pasos 2, 3, y 4. En este caso, sin embargo, hay que señalar que el tejido de acero galvanizado UHTSS debe ser colocado en franjas de acuerdo a las disposiciones de diseño. En cuanto respecta al reforzamiento a flexión, la separación entre franjas de FRP-SRP no debe ser inferior a 3 veces el espesor del muro + el ancho de la franja. Los conectores en acero UHTSS deben colocarse en tal caso, en la intersección de las franjas, en los extremos de la misma y en la correspondencia de puntos particulares, tales como esquinas, muros ortogonales de carga, etc. de acuerdo con los requisitos de diseño.
- Paso 5. Aplicación de un segundo estrato de malta del espesor necesario y en la totalidad de la superficie sobre la cual se ha aplicado la fibra y los anclajes.

La temperatura de aplicación debe estar entre 8°C - 35°C.



Figura 4.19. Intervención con mallas de fibra de vidrio AR, morteros y Conectores de fibra de vidrio.



Figura 4.20. Intervención con mallas de carbono, morteros y conectores en aramida o acero UHTSS.



Figura 4.21. Intervención con mallas de acero galvanizado UHTSS, mortero y conectores en acero UHTSS.

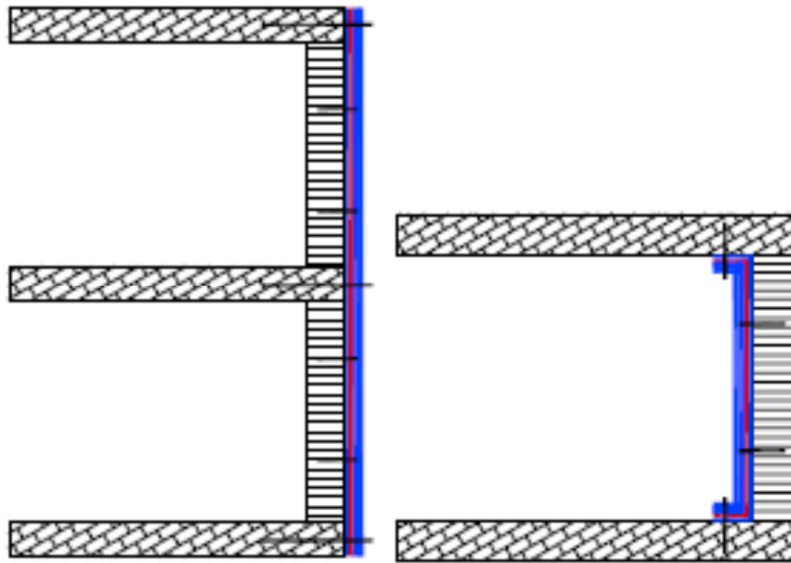


Figura 4.22. Reforzamiento de muros con conectores

5 ANCLAJES Y CONECTORES PARA MATERIALES COMPUESTOS

El control de las longitudes de adherencia y las técnicas de anclaje son de particular relevancia en el contexto de la utilización de técnicas de los materiales compuestos de SRP FRP relativas que, en caso de ser necesario, son utilizados como una salvaguarda para la exfoliación y por lo tanto a la pérdida prematura de la adhesión y la consiguiente capacidad carga.

Las longitudes de adherencia pueden calcularse y verificarse utilizando las especificaciones dadas en la guía CNR DT 200/2004 R1 2014, que se adjuntan a este documento. En caso de que sea insuficiente para un proyecto específico, deben considerarse la inclusión de medidas adecuadas que garanticen los valores límite de la delaminación en el ELU. También son de particular importancia en los casos de fractura frágil, como por ejemplo en nudos viga-columna (Ver sección 3.1) y reforzamiento a cortante de vigas (ver sección 3.3), en el que el uso de los sistemas de anclaje se convierte en obligatoria. En general sin embargo, es aconsejable colocar siempre anclajes por ejemplo, en el reforzamiento de vigas y losas a la flexión con el fin de evitar la delaminación en los extremos que puede ser particularmente crítica. De la misma manera, se debe proceder para el anclaje de los sistemas FRCM.

A continuación se enumeran algunos de los tipos de anclaje más importantes y más utilizados dentro del contexto de los materiales compuestos reforzados con fibras para hormigón y mampostería. También toma nota que de conformidad con la Guía antes mencionada que cualquier sistema utilizado deben ser certificado mediante pruebas de laboratorio que comprueben su efectividad.

5.1 Sistemas de Anclajes

5.1.1 Franjas FRP-SRP

Franjas en los extremos e intermedias en materiales compuestos FRP-SRP para vigas reforzadas a flexión. Para la ejecución de trabajos, referirse a la sección 3.1.3.

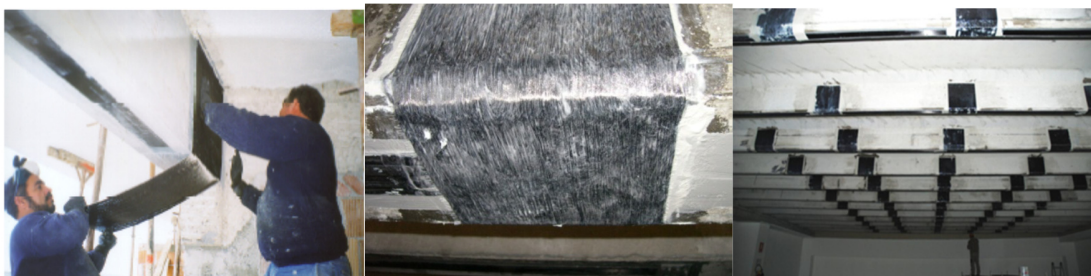


Figura 5.1. Uso de franjas FRP/SRP para anclaje del reforzamiento a flexión en vigas de hormigón armado.

5.1.2 Conectores en abanico

El anclaje de conectores de fibra con terminación en abanico es un sistema muy versátil ya que puede adaptarse según las condiciones específicas del proyecto. El sistema puede ser utilizado en hormigón y mampostería de bloque de cemento y/o ladrillo tanto para flexión, como para cortante y confinamiento. Los conectores de fibra están constituidos por un haz de fibras largas unidireccionales, recubiertas con un adhesivo adecuado con el fin de obtener una forma cilíndrica. El proceso de recubrimiento puede hacerse antes de la ejecución de los trabajos o durante la misma. Las principales fibras utilizadas son: aramida, vidrio, vidrio AR y acero UHTSS.

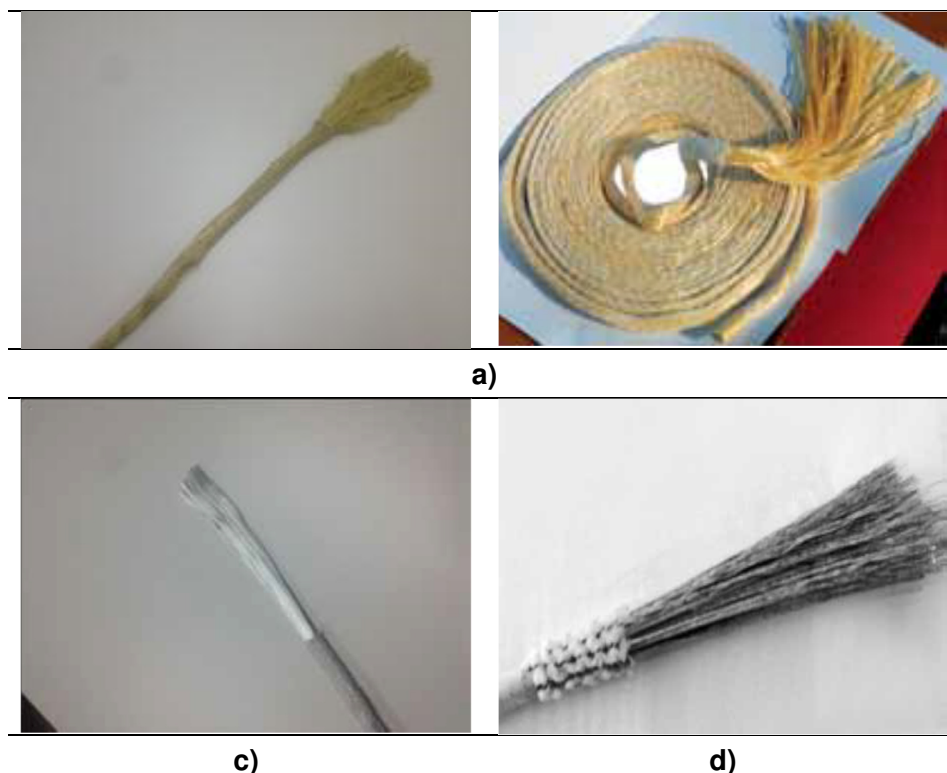


Figura 5.2. Tipos de conectores: a) Aramida; b) Vidrio; c) Acero UHTSS

El sistema también permite realizar conectores de diferente longitud y diámetro en función de las necesidades del reforzamiento estructural. El dispositivo consta de filamentos de fibras dispuestas en haces paralelos. Los haces individuales de fibras se recogen dentro de una funda flexible tanto longitudinal como transversalmente y extraíble, cuando se requiera. El conector se vuelve rígido solamente después de la impregnación y el curado del adhesivo. El diámetro nominal del conector es de 8, 10 y 12 mm. El abanico se corta según la longitud requerida junto con la funda que lo rodea. Las principales características técnicas de los conectores impregnados con adhesivos y certificados en el laboratorio son:

Tabla 5.1. Características de los conectores en abanico.

Tipo de Fibra	Diámetro nominal (mm)	Sección (mm²)	Esfuerzo de tensión (MPa)	Módulo Elástico (GPa)	Deformación unitaria (%)
Aramida	10	33.50	1600	110	1.5
Vidrio	10	25.90	1000	73	1.5
Vidrio AR	10	25.20	850	65	1.5
Acero UHTSS satinado	10	26.66	2800	170	1.8
Acero UHTSS galvanizado	10	25.12	2250	165	1.7

5.1.2.1 Procedimiento para la aplicación de conectores en abanico

El procedimiento debe ejecutarse mediante los siguientes pasos:

- Paso 1. Preparación del soporte y del sistema de reforzamiento de acuerdo con las diversas etapas descritas en el capítulo 3.
- Paso 2. La perforación del soporte debe tener 16 mm de diámetro como mínimo por la profundidad requerida por el diseño, pero con un mínimo de 15 cm. En algunos casos puede ser requerido el sellado temporal de la perforación, con un marcador extraíble.
- Paso 3. A continuación, debe procederse al corte de los conectores y del abanico, de acuerdo con las especificaciones de diseño, e impregnación con adhesivo epoxi adecuado de la sección central (con una longitud igual al espesor de la pared en el caso de perforación pasante o la longitud requerida en casos de perforaciones no pasantes) y espolverado de polvo de arena de cuarzo fino y seco, con el fin de obtener un elemento impregnado y rígido. La sección del conector que se dispondrá en abanico debe tener una longitud de 20 cm. Para conectores de acero, la parte central a impregnar puede ser aproximadamente 2 cm más corta que el espesor del muro para permitir la adecuada manipulación y conformación de los abanicos. En caso de perforaciones no pasantes, puede no ser necesaria la rigidización previa del conector y puede efectuarse simplemente el humedecimiento del mismo antes de ser introducido en la perforación.
- Paso 4. Aplicación de un primer en la perforación con un cepillo. Inserción del conector, teniendo cuidado de dejar el tramo rígido al interno de la mampostería y sellamiento de la perforación con adhesivo.
- Paso 5. Impregnación posterior con un adhesivo epoxi adecuado de las partes finales (dispuestas en abanico). Se aconseja aplicar sobre el abanico un cuadrado de fibra de vidrio de 20x20 cm fijado con masilla epoxi y espolveramiento de arena de cuarzo fina y seca cuando el epoxi esta aún fresco con el fin de optimizar las capas de acabado subsecuentes (estuco, pintura, etc.).



Figura 5.3. Aplicación de conectores en abanico.

5.1.3 Barras con terminación en abanico

El sistema de anclaje por medio de barras es bastante similar al de los conectores en fibra pero difieren en que en la parte central del conector está conformada por una barra rígida en material pultruido unida

con fibras que se dispondrán en abanico. Las barras pultruidas son principalmente en carbono y basalto y parte final en fibras de vidrio o aramida para un mejor comportamiento a cortante. El producto para unir las barras y las fibras debe ser un adhesivo epoxi aprobado. Este sistema se recomienda como alternativa a los conectores de fibra para perforaciones no pasantes en muros de mampostería de espesor superior a 50 cm, en las juntas de esquina, en las conexiones vigas/caras con muros no estructurales, en paredes de mampostería con cavidad y en casos en que el sistema de construcción del muro está conformado por bloques de hormigón o ladrillo y/o que presentan cavidades y vacíos importantes.

Las principales características de las barras de pultrusión, disponibles en diámetros de 8-10-12 mm y en general con adherencia mejorada, son:

Tabla 5.2. Características de barras de basalto y carbono.

Tipo de barra	Diámetro nominal (mm)	Contenido de fibra (%)	Esfuerzo de tensión (MPa)	Modulo Elástico (GPa)	Deformación unitaria (%)
Basalto	10	65	1700	62	2.5
Carbono	10	65	2300	150	1.5

5.1.3.1 Procedimientos para la aplicación de barras con extension en abanico

Las barras deben ser preparadas previamente fuera de la obra y ser cortadas a medida con disco de diamante, uniendo los pedazos de fibra con un epoxi adecuado, garantizando un traslapo de 10 cm con la barra y 20 cm de longitud libre en un extremo o en ambos de acuerdo con las especificaciones de diseño.

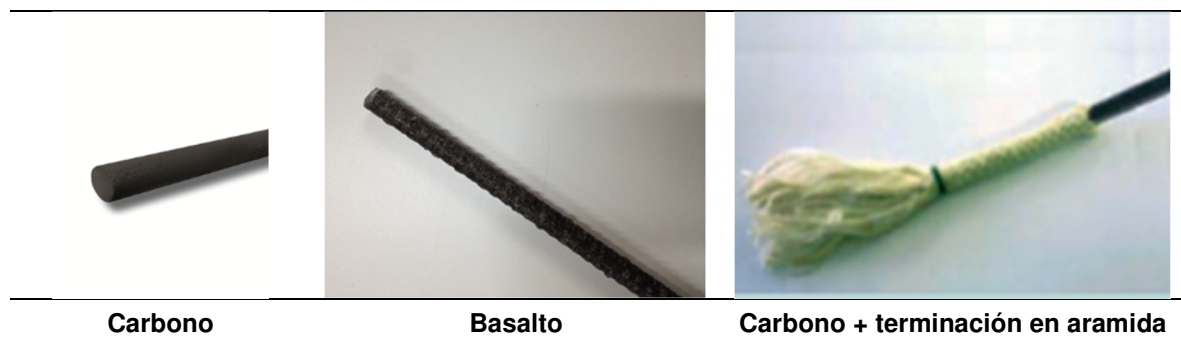


Figura 5.4. Tipos de barras



Figura 5.5. Fases de intervención.

5.1.4 Barras pultruidas en fibra y elementos helicoidales en acero inoxidable

Las barras pultruidas de fibra de carbono o basalto con adherencia mejorada y helicoidales en acero inoxidable son especialmente eficaces para la conexión rígida de muros con cavidad, para el encadenamiento de mampostería, para la realización de tirantes pasivos dentro de estructuras en hormigón y mampostería. Las características técnicas y metodología de ejecución de barras de carbono y basalto se pueden encontrar en la sección anterior.



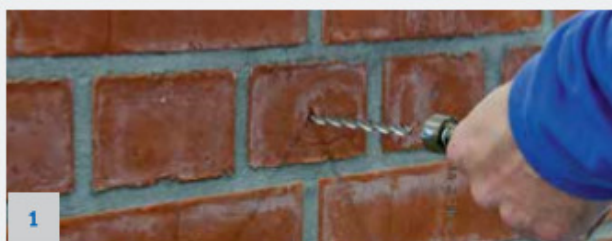
Figura 5.6. Barras helicoidales.

Tabla 5.3. Características de barras helicoidales.

Tipo de barra	Diámetro nominal (mm)	Carga de rotura (kN)	Esfuerzo de tensión (MPa)	Modulo Elástico (GPa)	Deformación unitaria (%)
AISI 304-316					
Helicoidal	8	12	1100	200	5
Helicoidal	10	15	1100	200	5

5.1.4.1 Procedimiento para la aplicación de barras helicoidales

Debe realizarse una perforación preliminar de diámetro menor al de la barra. Este paso puede omitirse en presencia de soportes adecuados fácilmente perforables. Inserción de la barra helicoidal a seco en el elemento mediante un mandril o un taladro de percusión (no a rotación) de potencia adecuada. La longitud máxima de la barra debe ser de 100 cm. Si es necesario, utilizar sistemas especiales de rigidización para barras de mayor longitud. La verificación de cumplimiento de adherencia puede llevarse a cabo en mediante la ejecución de una prueba de pull-off adecuada, siguiendo el procedimiento que se muestra a continuación.



Limite de carga 0-3000 N. Dejar la barra helicoidal expuesta al menos 50 mm del paramento del muro.



Insertar el manguito especial de acuerdo con el diámetro de la barra.



Posicionar la instrumentación del test sobre el manguito.



Asegurarse de que la posición de la instrumentación sea a nivel cero.



Aplicar la carga rotando el extractor como se muestra en la figura y verificar los valores de carga.

Figura 5.7. Prueba de extracción de la barra helicoidal de diámetro 8-10 mm.

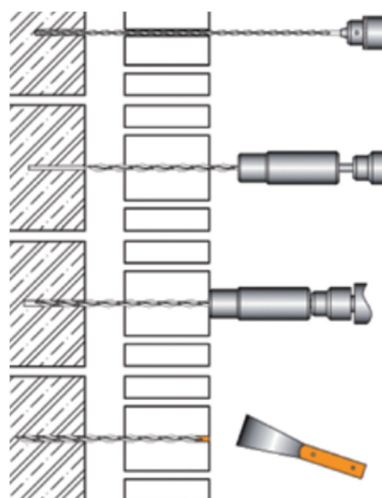


Figura 5.8. Procedimiento para la aplicación de barras helicoidales.

5.1.5 Placas y ángulos de acero y aluminio

Otros sistemas de anclaje consisten en placas lisas o perfiladas de acero o de aluminio fijado al soporte por medio de adhesivo epoxi y tornillos mecánicos calibrados en la última carga. Tales sistemas de anclaje son particularmente adecuados para las láminas de carbono CFK pultruidas, en los extremos del reforzamiento a flexión de vigas, placas y columnas de hormigón.



Figura 5.9. Ejemplos de placas de acero o de aluminio y perfiles angulares.

5.1.5.1 Procedimiento para la aplicación de placas y perfiles angulares

El procedimiento debe realizarse de la siguiente manera:

- Paso 1. Una limpieza a fondo del soporte (Capítulos 3 y 4)
- Paso 2. El escarificado del hormigón a una profundidad de 1.5 – 2 cm en los puntos en los que se dispondrán las placas o perfiles angulares del tipo de encaje. Esta operación no es necesaria para placas y ángulo planos.
- Paso 3. Ejecución de los agujeros para los tacos o chazos mecánicos en la cantidad, diámetro y profundidad adecuada según las especificaciones de diseño y del fabricante.
- Paso 4. Posicionamiento de los tacos de la contra placa de fondo para las de tipo de encaje por medio de estuco epoxi homologado.
- Paso 5. Colocación de las láminas de carbono CFK de acuerdo con el procedimiento descrito en el capítulo 3
- Paso 6. Recubrimiento tanto del sustrato como de la placa con masilla epoxi aprobada.
- Paso 7. Colocación de la placa (de cierre para el tipo de encaje) teniendo cuidado de mantener su adherencia al soporte y fijación de las tuercas a los chazos con llave de torsión.



Figura 5.10. Secuencia de intervención para las placas de encaje para láminas de carbono CFK



Figura 5.11. Otras tipologías de placas para platinas CFK en carbono

6 PRUEBAS DE ACEPTACION PARA LOS TRABAJOS DE REFORZAMIENTO FRP-SRP

Los sistemas de reforzamiento FRP-SRP requieren pruebas específicas in situ de verificación de la calidad de la ejecución de los trabajos con el fin de ser aprobadas.

En las pruebas de aceptación en obra consisten en dos tipos de pruebas. Pruebas diferentes pueden ser determinadas por el director de obra.

6.1 Pruebas de aceptación del sistema FRP -SRP

Para la prueba de aceptación de los materiales, se deben testar muestras de fibras impregnadas con adhesivo tomando muestras de la obra (fibra y adhesivo) y sometiéndolos a pruebas de tensión directa para determinar el esfuerzo de rotura último a tensión de acuerdo a las normas ASTM D 3039 o EN 2561. El laboratorio de ensayo debe ser reconocido por los entes pertinentes, y disponer del equipo de laboratorio adecuado para la prueba.

Deberán ser realizarse al menos cinco muestras de diferentes lotes de material. Con el fin de aceptar el material, los valores medios de las pruebas deben ajustarse a los datos reportados las hojas técnicas del fabricante y ser compatibles con los valores de diseño. El Director de obra es el encargado de realizar la aceptación final del material.

Pruebas de aceptación a tensión de fibras impregnadas FRP-SRP



Figura 6.1. Muestras para las pruebas.

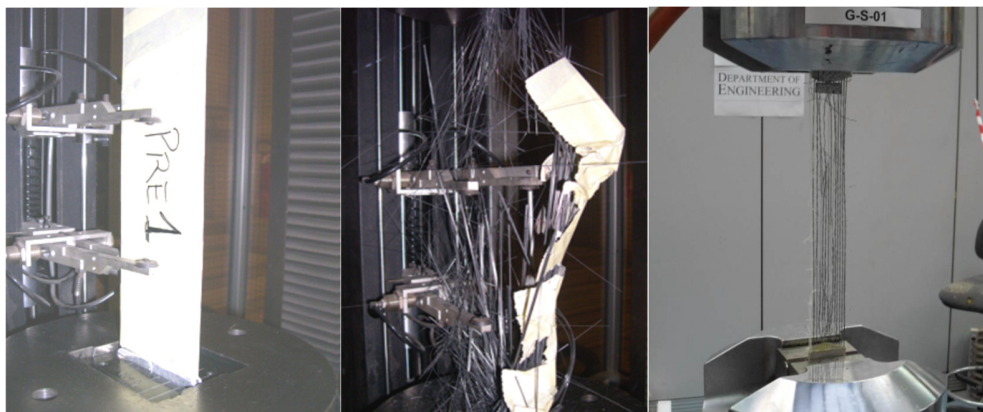


Figura 6.2. Prueba de tracción.

6.2 6.2. Pruebas para verificación de la calidad de los trabajos

Deben realizarse pruebas de adherencia (desprendimiento, pull off) de acuerdo con las normas ASTM D 4541 o EN 1542 ejecutadas por personal calificado y equipado con el equipo adecuado para la prueba. El número de pruebas realizar depende del área a intervenir y de las disposiciones del Director de Obra. Indicativamente, debe realizarse al menos un test cada 50 m² de fibra aplicada con un mínimo de 3 pruebas. Se deben colocar los discos de prueba en proximidades de las fibras aplicadas con el fin de evitar el corte de las fibras ya instaladas. La prueba, empleada también para la evaluación de las propiedades del sustrato, se realiza generalmente utilizando cilindros de acero de espesor 20 mm y de un diámetro no inferior a 50 mm unidos a la fibra con adhesivo específico. Antes de la prueba, el reforzamiento debe ser cortado a lo largo del borde del disco usando un cortador cilíndrico recto no mayor de 3 mm, teniendo cuidado de no sobrecalentar el material compuesto y de subsecuentemente afectar el sustrato por una profundidad de al menos 2 mm. Para garantizar la perpendicularidad de la dirección de la fuerza de desprendimiento es necesaria para la adopción de las medidas específicas. La intervención puede ser aceptada si al menos el 80% de las pruebas (por lo menos dos de cada tres en el caso de los tres ensayos) proporcionan, en la superficie circular aislada, una tensión de adherencia pico no inferior a 0,9 N / mm², en el caso de soporte de hormigón, es decir, o no inferior al 10% de la resistencia (media) del soporte a la compresión, en el caso de mampostería. Además, la superficie de corte debe estar contenido en el sustrato y no coincidir con la interfaz sustrato/compuesto. En el caso en el que la superficie de rotura coincida con la interfaz sustrato/compuesto, la prueba debe repetirse. La aceptación de la prueba es responsabilidad del Director de Obra.



Figura 6.3. Colocación de las muestras de prueba



Figura 6.4. Fresado y corte del refuerzo con incisión en el sustrato > 2 mm



Figura 6.5. Colocación del extractor para la prueba

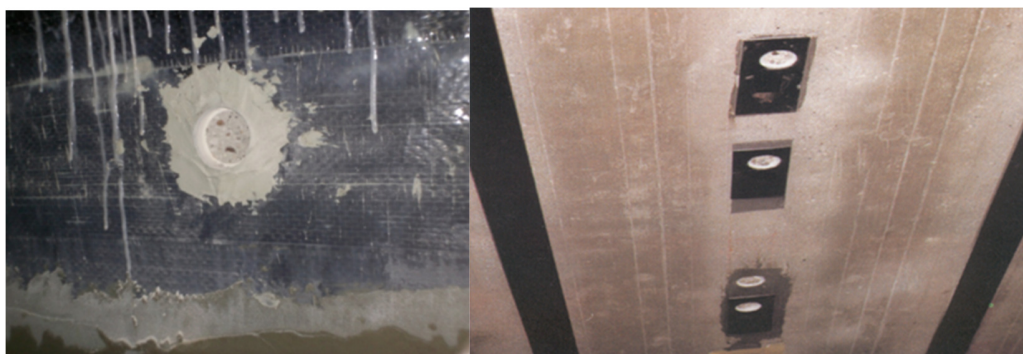


Figura 6.6. Extracción de muestras de prueba



Figura 6.7. Muestras extraídas con rotura del sustrato.

Tabla 6.1. Pruebas de adherencia (pull off) de 5 muestras, 4 con rotura cohesiva (A) y una en la interfaz (A/B).

TIPO	NOMBRE	MODO DE FALLA	Fh (kN)	fh (kN)
1	TR1	A	5.49	3.45
	TR2	A	5.72	3.60
	TR3	A	4.39	2.76
2	TR1	A/B	2.83	--
	TR2	A	4.89	3.07

7 PROTECCION AL FUEGO

La protección al fuego para los sistemas SRP-FRP, en los casos en los que sea requerido, puede realizarse mediante el empleo de dos técnicas diversas:

- -el uso de paneles intumescentes o,
- - la aplicación de estuco de protección.

En ambos casos, el proveedor de materiales de protección debe indicar en las hojas técnicas el grado de protección alcanzable en relación con el espesor del recubrimiento. Los paneles se colocan en el refuerzo después de la inserción de tapones que no deben cortar o perforar las fibras de reforzamiento. Se resalta que FRCM - TRM presentan una buena resistencia al fuego, que es proporcional al espesor final del mortero.

8 NORMAS TÉCNICAS

- Eurocódigos Estructurales
- Normas técnicas para la construcción, NTC8 - 2009 , Ministerio Italiano de Infraestructura (en italiano)
- DT 200 R1 2014 Guía para el diseño, ejecución y supervisión de obras de reforzamiento mediante el uso de materiales compuestos fibro reforzados
- Guía ReLuis para edificios afectados por un terremoto – Organismo Técnico de la Protección Civil – Presidencia del Consejo Italiano de Ministros (en Italiano)
- Guía para el Diseño y Construcción de Sistemas FRP Pegados Externamente para el Reforzamiento de Estructuras Existentes (CNR-DT 200 R1/2014).

9 GRUPO DE TRABAJO

La presente guía ha sido elaborada por un comité técnico interno al grupo G & P intech compuesto de profesores universitarios, expertos, PhD.

10 LISTA DE APENDICES

- **Apéndice A:** Guía para el Diseño y Construcción de Sistemas FRP Pegados Externamente para el Reforzamiento de Estructuras Existentes (CNR-DT 200 R1/2014).
- **Apéndice B:** Ejemplo de cálculo de reforzamiento local de nudos con materiales compuestos.
- **Apéndice C:** FRPSofTware – Manual del Usuario.