EUSKO JAURLARITZA GOBIERNO VASCO
HEZKUNTZA SAILA DEPARTAMENTO DE EDUCACIÓN

BERRIKUSIA

REVISADO



PROYECTO DE REPARACION Y REFUERZO DE VIGAS DEL PORTICO DE LA FACHADA NORTE DEL EDIFICIO IES USANDIZAGA BHI

ANEJO 6. MEMORIA CALCULO

PETICIONARIO:

GOBIERNO VASCO – DEPARTAMENTO DE EDUCACION
EUSKO JAURLARITZA – HEZKUNTZA SAILA

SITUACION:

AITZOL PARKEA Nº 1A
DONOSTIA-SAN SEBASTIAN (GIPUZKOA)

REDACTOR:

ISIDRO ALIRI ARISTIGUIETA,
Arquitecto Técnico e Ing. Edificación

ALIRI ARTEK
Consultoría de Estructuras
Servicios de Arquitectura

FECHA:

MAYO - 2022

DESCRIPCION DEL SISTEMA DE REPARACION Y REFUERZO DE LAS VIGAS DEL PORTICO DE LA FACHADA NORTE DEL EDIFICIO "IES USANDIZAGA BHI" DE DONOSTIA - SAN SEBASTIAN

El sistema de reparación y refuerzo de las vigas del pórtico de la fachada norte del edificio de IES Usandizaga BHI, se plantea a base de una intervención realizada en dos fases.

En una primera actuación se pretende sanear y reparar las vigas de hormigón armado existentes con esta serie de intervenciones:

- Primeramente, se eliminarán, por medios mecánicos y manuales, todos los desprendidos y desconchados de los hormigones deteriorados, descubriendo las armaduras inferiores y laterales exteriores de las vigas del pórtico mencionado hasta que las armaduras resulten sin daños.

- Posteriormente, se procederá a eliminar las oxidaciones de las armaduras descubiertas, dejándolas limpias de cualquier resto de óxido, suciedad, grasa y/o polvo, esta operación se realizará mediante la aplicación, con aire a presión controlada, de un chorro de arena de silicato de aluminio.

- Seguidamente, se protegerán las armaduras mediante la aplicación de un "pasivador" compuesto por un producto cementoso de un componente, mejorado con resina sintética y humo de sílice, tipo "SikaTop Armatec-110", "Mapefer 1K", "MasterEmaco P5000 AP" o cualquier otro producto de características similares

- Para finalizar esta primera fase, se procederá a la recuperación de la geometría inicial de la sección de las vigas, aplicando un mortero tixotrópico con base de resinas epoxídicas, tipo Master Emaco S544, "Geolite" o cualquier otro producto de características similares.

La segunda fase consistirá en el refuerzo estructural a base de bandas de carbono pultrusionadas (CFRP) y se procederá de la siguiente manera:

- Primeramente, se prepararán las superficies del soporte, debe de estar limpia, sin contaminantes y a poro abierto.

- La colocación de las bandas de carbono se efectuará con una temperatura ambiente comprendida entre +8ºC y +35ºC y la humedad del soporte será como máximo del 4%. Tampoco se colocarán las bandas con situaciones de "punto de rocío" o condensaciones superficiales.

- El adhesivo utilizado será una resina del tipo Sikadur®-30, o producto similar equivalente de otro sistema homologado y aprobado por la Dirección Facultativa.

- La mezcla de la resina se realizará con batidora eléctrica, al menos durante 3 minutos, con una relación de sus componentes de 3/1 (Componente A / Componente B) en peso o volumen.

- Las láminas o bandas de carbono pueden ser cortadas con sierra de diamante o con una sierra para metales.

- Se colocarán las láminas Sika CarboDur® E (CFRP S 1014) o producto similar equivalente de otro sistema homologado y aprobado por la Dirección Facultativa, previamente impregnadas con el adhesivo anteriormente mencionado y se procederá de inmediato a su presionado manual, de dentro hacia fuera, hasta que el adhesivo escurra por los bordes, retirándose el sobrante.

- Finalmente se revestirán sus superficies exteriores con una fina capa de adhesivo y un árido espolvoreado.

CALCULO DE LOS REFUERZOS

Primeramente, se han calculado los esfuerzos resultantes en los pórticos, tanto en su estado inicial como en el estado final, mediante el programa de CYPE 3D.
Se ha analizado la estructura de esta fachada con dos estudios:
El primero de los estudios se ha realizado a origen, estableciendo unas cargas debidas exclusivamente al peso propio del elemento en sí, más al peso propio del cierre de la fachada que soporta.
No se ha tenido en cuenta ninguna carga debida a la conexión con el forjado, por el hecho de que éste disponía las viguetas en una dirección paralela a las de las vigas de este pórtico.
El segundo, sin embargo, se ha analizado en estado reformado, añadiendo al primer caso las cargas puntuales transferidas por las vigas metálicas incorporadas como apeo del forjado y cuyos vanos de viguetas han sido interrumpidos en el vano central donde se ha construido la escalera de evacuación.

A continuación, se acompañan sendos diagramas de esfuerzos de momentos.

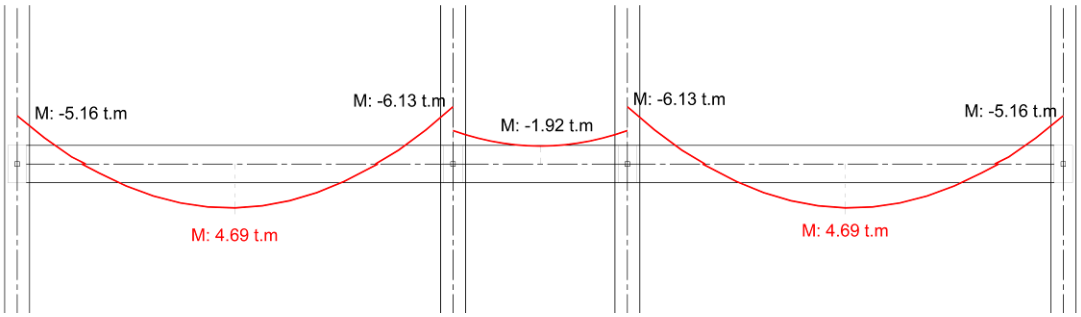


Diagrama de Momentos de Viga de hormigón de Fachada en su Estado Original

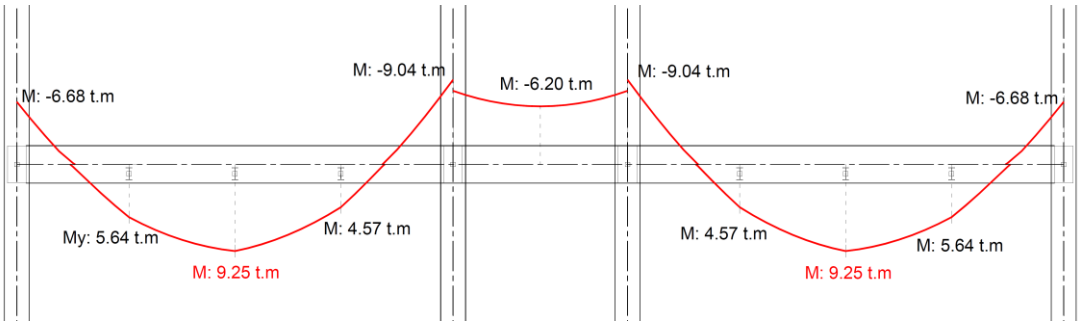


Diagrama de Momentos de Viga de hormigón de Fachada en su Estado Reformado

Los resultados arrojan un incremento de los esfuerzos en las vigas que duplican los esfuerzos en su estado Original.

El sistema de refuerzo que se propone es el de adicionar unas bandas de fibra de carbono pultrusionado, adheridas en la parte inferior de las vigas para absorber los nuevos esfuerzos generados.

Se ha realizado un estudio con el programa que facilita Sika para sus productos relacionados con estos sistemas, resultando una aplicación adherida de 2 bandas de Sika Carbo-Dur E1014. Se acompaña dicho estudio.

ÍNDICE

1. CRITERIOS DE DISEÑO Y REGLAMENTO

2. HIPÓTESIS DE CÁLCULO

- **2.1. Geometría**
- **2.2. Concreto**
- **2.3. Acero de refuerzo**
- **2.4. Factores de reducción de resistencia**
- **2.5. Factores de carga**
- **2.6. Condiciones de exposición**

3. RESISTENCIA FRP

- **3.1. Refuerzo principal FRP**

4. COMBINACIONES DE CARGA PREVISTAS

- **4.1. Acciones iniciales**
- **4.2. Acciones esperadas (diseño del refuerzo)**

5. RESULTADOS

- **5.1. Resumen de resultados**
- **5.2. Estados límite últimos**
- **5.3. Estados límite de servicio**
- **5.4. Resistencia al fuego (t=0 min.)**
- **5.5. Disposición del FRP**

6. ESPECIFICACIÓN DE PRODUCTO

- **6.1. Laminados Sika CarboDur® adheridos**
  - 6.1.1. Preparación de la superficie de hormigón/concreto
  - 6.1.2. Laminados Sika CarboDur®
  - 6.1.3. Adhesivo epoxi
  - 6.1.4. Procedimiento de aplicación

1. CRITERIOS DE DISEÑO Y REGLAMENTO

Refuerzo a flexión en viga.

- ACI 440.2R-17
- ACI 318
- País: España

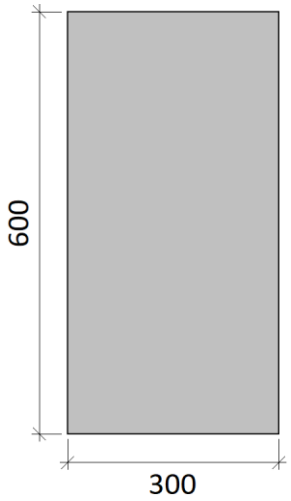
2. HIPÓTESIS DE CÁLCULO

2.1. Geometría

Sección transversal = Rectangular

Ancho = 300 mm

Canto = 600 mm



2.2. Concreto

Resistencia a compresión del hormigón

Resistencia del concreto (f'_c) = 20 MPa

Probeta cilíndrica = 20 MPa

Probeta cúbica = 25 MPa

2.3. Acero de refuerzo

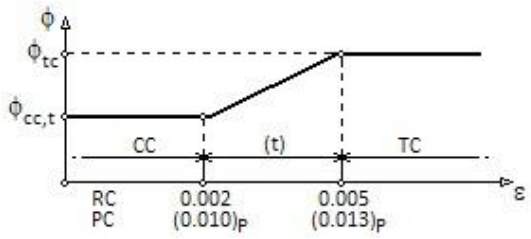
Capas de refuerzo

Capa superior	d_2 mm	Acero f_y (MPa)	E_s (MPa)	Número x d_s (mm)
1.	30	(B240) 240	200000	4 x 10.0

Capa inferior	d_1 mm	Acero f_y (MPa)	E_s (MPa)	Área (mm²)
1.	30	(B240) 240	200000	710.00

2.4. Factores de reducción de resistencia

Definido por (ACI 318)



$\phi_{cc,t}$ = 0.65

$\phi_{tc} = 0.90$

2.5. Factores de carga

Combinaciones ACI	Cargas muertas	Cargas vivas
Límites del refuerzo	1.10	0.75
Acciones esperadas (diseño del refuerzo)	1.20	1.60
Acciones de servicio previstas	1.00	1.00
Caso de incendio	1.00	1.00

2.6. Condiciones de exposición

Tipo de fibra: Carbono
Condiciones de exposición: Exposición interior ($C_e = 0.95$)

3. RESISTENCIA FRP

3.1. Refuerzo principal FRP

Pegado. Sika CarboDur® E

Sika CarboDur® E1014	Número	E_f (MPa)	Espesor t_f (mm)	ε_{fu}	Ancho (mm)
Capa: 1	2	180000.00	1.400	0.0103	100.00

4. COMBINACIONES DE CARGA PREVISTAS

4.1. Acciones iniciales

M_i : *46.90* kN·m

4.2. Acciones esperadas (diseño del refuerzo)

Cargas muertas — **M_{DL}** : *52.55* kN·m
Cargas vivas — **M_{LL}** : *18.40* kN·m

5. RESULTADOS

5.1. Resumen de resultados

Límites del refuerzo (ACI440.2R-17, 9.2)				
Acciones	ϕ	M_u (kN·m)	M_n (kN·m)	$\phi \cdot M_n \geq M_u$ (N = N_u)
$S_u = 1.10 \cdot S_{DL} + 0.75 \cdot S_{LL}$	0.90	71.61	94.11	Sección no reforzada 84.70kN·m ≥ 71.61kN·m ✓

Sección reforzada bajo cargas previstas				
Acciones	ϕ	M_u (kN·m)	M_n (kN·m)	$\phi \cdot M_n \geq M_u$ (N = N_u)
$S_u = 1.20 \cdot S_{DL} + 1.60 \cdot S_{LL}$	0.82	92.50	177.42	Sección reforzada 145.42kN·m ≥ 92.50kN·m ✓

Estados límite de servicio			
Acciones	Tensiones de servicio		
$S_u = 1.00 \cdot S_{DL} + 1.00 \cdot S_{LL}$	$f_{c,s} \leq 0.6 \cdot f'_c$	$f_{y,s} \leq 0.8 \cdot f_y$	$f_{f,s} \leq 0.55 \cdot f_{fu}$
	5.04 MPa ≤ 12.00 MPa ✓	175.10 MPa ≤ 192.00 MPa ✓	40.20 MPa ≤ 968.72 MPa ✓

Resistencia al fuego (t=0 min.)				
Acciones	ϕ	M_u (kN·m)	M_n (kN·m)	$\phi \cdot M_n \geq M_u$ (N = N_u)
$S_u = 1.00 \cdot S_{DL} + 1.00 \cdot S_{LL}$	1.00	70.95	94.11	Sección no reforzada 94.11kN·m ≥ 70.95kN·m ✓

5.2. Estados límite últimos

La resistencia a flexión de una sección depende del control del modo de fallo. Los siguientes modos de fallo deben investigarse para una sección con refuerzo FRP (ACI 440.2R-17, 10.1.1):

Rotura del concreto en compresión antes de la fluencia del acero de refuerzo;

Fluencia del acero en tracción seguida de rotura del laminado FRP;

Fluencia del acero en tracción seguida de rotura del concreto;

Deslaminación del recubrimiento de concreto por tensiones de cortante

Despegue del FRP del substrato de concreto (Despegue FRP).

Las siguientes hipótesis se aplican al cálculo de la resistencia a flexión de una sección reforzada con un sistema externo de refuerzo mediante FRP (ACI 440.2R-17,10.2.1):

Los cálculos para el diseño están basados en las dimensiones, disposición de refuerzo interno de acero, y las propiedades de los materiales del elemento existente a reforzar;

Las deformaciones en el acero de refuerzo y concreto son directamente proporcionales a la distancia desde el eje neutro. Esto es, las secciones planas antes de la deformación permanecen planas después de la misma;

No existe desplazamiento relativo entre el refuerzo FRP externo y el concreto;

Se desprecian las deformaciones por cortante en el interior de la capa adhesiva debido a que ésta es muy delgada y con leves variaciones en su espesor;

La máxima deformación de compresión en el concreto es 0.003;

Se desprecian las tensiones de tracción en el concreto; y

El refuerzo FRP tiene un comportamiento tensión-deformación elástico y lineal hasta la rotura

Diagrama tensión-deformación del concreto

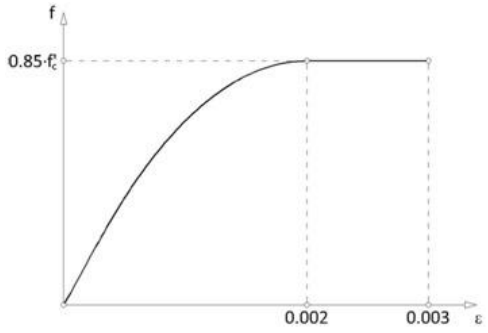
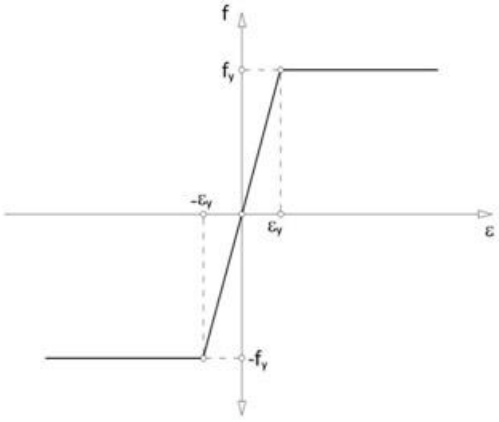


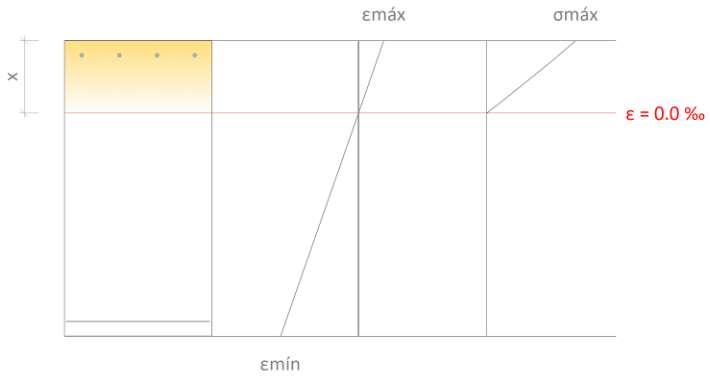
Diagrama tensión-deformación para el acero de refuerzo



Para prevenir la fisuración previa al modo de fallo de despegue, la deformación efectiva en el refuerzo FRP debe limitarse al nivel de deformación a la que ésta puede ocurrir, ε_{fd}, como se define en la Eq. (ACI 440.2R-17, Sección 10.1):

Refuerzo principal FRP ε_{fd} : *0.0037*

Se aplica un factor de reducción adicional, Ψ_f, a la contribución a la resistencia a flexión del refuerzo FRP. El valor recomendado de Ψ_f es 0.85.
Equilibrio de la sección. Acciones iniciales
$S_u = S_i$ = 46.90 kN·m



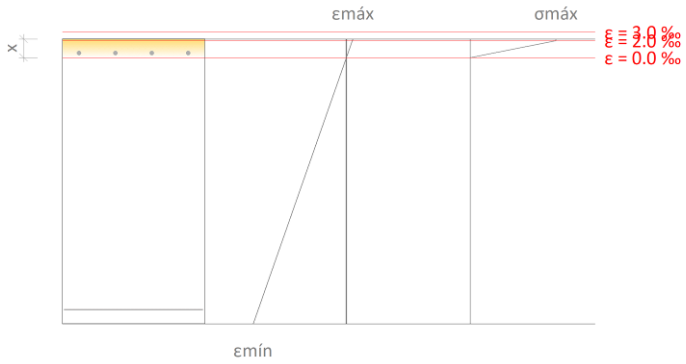
Deformación máxima y mínima	$\varepsilon_{máx}$ = 0.22 ‰
	$\varepsilon_{mín}$ = -0.68 ‰
Tensión máxima en el hormigón	f_c = 3.51 MPa
Profundidad de la fibra neutra	x = 146.59 mm

Tensión y deformación de los refuerzos			
Ref.	Coord. Y (mm)	f (MPa)	ε (‰)
No. 10	270	34.78	0.17
A. 710	-270	-126.30	-0.63
**: La tensión en FRP se ve afectada por un coeficiente reductor adicional (Ψf = 0.85).*			

Límites del refuerzo. Combinación mínima de cargas que debe resistir el elemento sin reforzar (ACI440.2R-17, Sección 9.2).
$S_u = 1.10 \cdot S_{DL} + 0.75 \cdot S_{LL}$

84.70 kN·m ≥ 71.61 kN·m ✓

Momento nominal	**M_n** : *94.11* kN·m
Factor de reducción de resistencia	**ϕ** : *0.90*



Deformación máxima y mínima	$\varepsilon_{máx}$ = 2.19 ‰
	$\varepsilon_{mín}$ = -31.54 ‰
Tensión máxima en el hormigón	f_c = 17.00 MPa
Profundidad de la fibra neutra	x = 39.02 mm

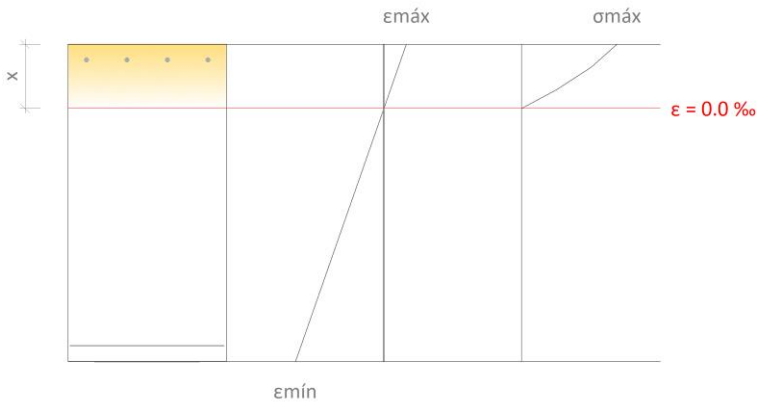
Tensión y deformación de los refuerzos			
Ref.	Coord. Y (mm)	f (MPa)	ε (‰)
No. 10	270	101.44	0.51
A. 710	-270	-240.00	-29.85
**: La tensión en FRP se ve afectada por un coeficiente reductor adicional (Ψf = 0.85).*			

Límites del refuerzo. Sección reforzada y cargas previstas.
S_u = 1.20 · S_{DL} + 1.60 · S_{LL}

145.42 kN·m ≥ 92.50 kN·m ✓

Momento nominal **M_n** : *177.42* kN·m

Factor de reducción de resistencia **ϕ** : *0.82*



Deformación máxima y mínima	$\varepsilon_{máx}$ = 1.09 ‰
	$\varepsilon_{mín}$ = -4.31 ‰
Tensión máxima en el hormigón	f_c = 13.46 MPa
Profundidad de la fibra neutra	x = 120.99 mm

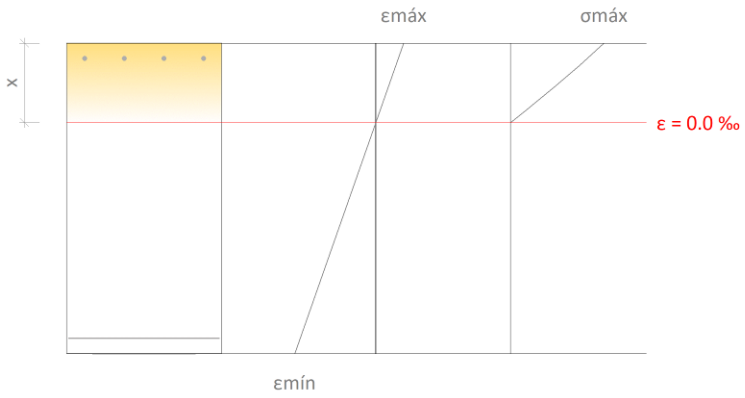
Tensión y deformación de los refuerzos			
Ref.	Coord. Y (mm)	f (MPa)	ε (‰)
No. 10	270	163.57	0.82
A. 710	-270	-240.00	-4.04
FRP	-301	-556.05	-3.63
**: La tensión en FRP se ve afectada por un coeficiente reductor adicional (Ψf = 0.85).*			

5.3. Estados límite de servicio

La tensión en el acero de refuerzo bajo cargas de servicio debe limitarse al 80% del límite elástico. Además, la tensión de compresión del concreto bajo cargas de servicio debería limitarse al 60% de la resistencia a compresión (ACI 440.2R-17, 10.2.8).

La tensión sostenida debería limitarse como se expresa en la ec. (ACI 440.2R-17, 10.2.9):

Equilibrio de fuerzas de la sección para cargas de servicio
S_u = 1.00 · S_{DL} + 1.00 · S_{LL}



Deformación máxima y mínima	$\varepsilon_{máx}$ = 0.32 ‰
	$\varepsilon_{mín}$ = -0.94 ‰
Tensión máxima en el hormigón	f_c = 5.04 MPa
Profundidad de la fibra neutra	x = 153.38 mm

Tensión y deformación de los refuerzos			
Ref.	Coord. Y (mm)	f (MPa)	ε (‰)
No. 10	270	51.85	0.26
A. 710	-270	-175.10	-0.88
FRP	-301	-40.20	-0.26
**: La tensión en FRP se ve afectada por un coeficiente reductor adicional (Ψf = 0.85).*			

5.4. Resistencia al fuego (t=0 min.)

Límites del refuerzo. Sección no reforzada.
S_u = 1.00 · S_{DL} + 1.00 · S_{LL}

94.11 kN·m ≥ 70.95 kN·m ✓

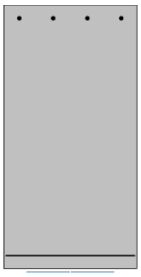
Momento nominal **M_n** : *94.11* kN·m

Factor de reducción de resistencia **ϕ** : *1.00*

La resistencia nominal del elemento no reforzado supera la requerida para la combinación de cargas correspondiente a la situación de incendio. El refuerzo FRP, por tanto, no es necesario durante la situación de incendio, y no es necesario aplicarle protección. Si se necesita una cierta resistencia al fuego, el proyectista debe evaluar la necesidad de necesidad de aplicar una protección al elemento de hormigón armado de acuerdo con la normativa local.

5.5. Disposición del FRP

Los resultados previos corresponden al siguiente esquema FRP:
Refuerzo FRP principal: 2 (Sika CarboDur® E1014)



6. ESPECIFICACIÓN DE PRODUCTO

6.1. Laminados Sika CarboDur® adheridos

El refuerzo se efectuará mediante el uso de laminados pultruidos Carbodur a base de polímero reforzado, adherido externamente a la estructura mediante adhesivo epoxi Sikadur®-30.

El material será un laminado unidireccional pultruido de CFRP, con un contenido volumétrico de fibra >68%.
Los laminados estarán totalmente rectos, planos y libres de torsión.
El material dispondrá de un registro de utilización (> 25 años) para refuerzo estructural.
Se aportarán certificados de ensayos del adhesivo tras envejecimiento acelerado de 100 días.

6.1.1. Preparación de la superficie de hormigón/concreto

Cualquier material no cohesivo será retirado, y el hormigón/concreto será reparado tal y como se indica anteriormente.
Cualquier oquedad significantiva o nido de grava será rellenado con un mortero de reparación adecuado.
Los materiales de reparación serán totalmente compatibles con el adhesivo.
La resistencia real a arrancamiento del soporte de hormigón/concreto será verificada al menos mediante 3 ensayos de pull-off.
El hormigón/concreto tendrá una edad superior a 28 días.
La lechada superficial en el substrato será eliminada hasta que se logre una superficie de poro abierto.
La superficie del soporte será limpiada hasta que quede libre de aceites, grasas y cualquier otro contaminante, así como de partículas sueltas y polvo.
La humedad del soporte será inferior al 4% pbw.

6.1.2. Laminados Sika CarboDur®

Los materiales cumplirán con las prestaciones mínimas indicadas a continuación:

6.1.2.1. Propiedades de los laminados Sika CarboDur® E:

Contenido volumétrico en fibra		> 68%
Temperatura de trans. vítrea.		> 100°C
Módulo Elástico	EN 2561/ASTM D3039	≈ 180000 N/mm² (MPa)
Resistencia a tracción	EN 2561/ASTM D3039	≈ 2180 N/mm² (MPa)
Deformación de rotura	EN 2561/ASTM D3039	> 1.05%

6.1.3. Adhesivo epoxi

El material será en base epoxi, pudiendo emplearse el mismo producto como imprimación, masilla de regularización y adhesivo.
El material no emitirá sustancias peligrosas para la salud, higiene o medio ambiente.
El material será resistente a la fluencia a largo plazo, probado mediante ensayo independiente.
El material cumplirá con los requerimientos de la EN 1504-4 como adhesivo estructural para la adhesión de placas de refuerzo.

6.1.3.1. Propiedades del adhesivo Sikadur®-30:

El adhesivo cumplirá con lo establecido en la EN 1504-4.

Densidad (mezcla A+B) a +23°C	1.65 kg/l + 0.1 kg/l
Resistencia al corte oblícuo sobre acero:	50° ≥ 50 N/mm²
	60° ≥ 60 N/mm²
	70° ≥ 70 N/mm²
Capacidad de adherencia:	≥ 14 N/mm²
Resistencia a cortante:	≥ 12 N/mm²
Resistencia a compresión:	≥ 30 N/mm²
Retración / expansión:	≤ 0.1%
Trabajabilidad:	85 min. a 23°C
Sensibilidad al agua	Pasa
Módulo elástico:	≥ 2000 N/mm²
Coeficiente de dilatación térmica:	≤ 100 x 10-6
Temperatura de transición vítrea:	≥ 40°C
Durabilidad	Pasa

Cumplimiento de los requerimientos FIP

Deslizamiento	Sin escurrimiento hasta 3 -5 mm en vertical
Compresibilidad	4000 m2 a +15°C a 15 kg
Variación volumétrica	0.04%
Resistencia a cortante a 15°C	>14 N/mm²
Resistencia a cortante a 35°C	>26 N/mm²
Módulo elástico a compresión	9600 N/mm²
Módulo elástico a tracción	11200 N/mm²

ISIDRO FERNANDO ALIRI ARISTIGUIETA

Firmado digitalmente por ISIDRO FERNANDO ALIRI ARISTIGUIETA
Nombre de reconocimiento (DN): c=ES, ou=Herritar ziurtagiria - Certificado de ciudadano, cn=ISIDRO FERNANDO ALIRI ARISTIGUIETA, givenName=ISIDRO FERNANDO, sn=ALIRI ARISTIGUIETA, serialNumber=15910255M
Fecha: 2022.05.11 17:48:16 +02'00'

EUSKO JAURLARITZA GOBIERNO VASCO
HEZKUNTZA SAILA DEPARTAMENTO DE EDUCACIÓN

BERRIKUSIA

REVISADO