

CAPÍTULO 11 DISEÑO DETALLADO

11.1 Losa

La losa de concreto es la parte de la estructura del Puente donde se observan más daños, ya que es esta la que soporta la carga de las ruedas directamente de los vehículos. Los daños observados en la losa de concreto pueden ser las grietas, filtraciones de agua, descascamiento y la subsidencia del concreto. Estos daños se dan como causa de la repetición de la carga de las ruedas. La grieta en una dirección se desarrolla hasta una malla y finalmente algunas partes del concreto se descascaran. Por lo que, los daños se deben de reparar en una etapa temprana para evitar que se desarrolle el daño. Se necesita reforzar el puente, ya que este fue diseñado para cargas vivas pequeñas.

El diseño de cargas vivas de los 10 puentes seleccionados son HS15 o HS20, lo cual depende del año de construcción del puente. El diseño de carga viva en Costa Rica actualmente usado es el HS20 + 25, lo que corresponde al aumento del peso de los vehículos. Por lo tanto, la capacidad de carga de la losa no es suficiente para la mayoría de los 10 puentes excepto el Puente No. 17 sobre el Río Chirripó y el Puente No. 20 sobre el Río Sucio. Como estos dos puentes son de tipo viga cajón de PC, y la estructura presforzada también se usa para su losa. El Tipo de estructura de concreto reforzado de la losa se usa para otros puentes y el esfuerzo del acero de refuerzo en la losa excede el esfuerzo permitido para la carga viva incrementada HS20 + 25%.

Por lo tanto, el refuerzo para la losa se necesita para los 8 puentes, inclusive para los puentes que tienen daños serios que no se observaron en la inspección detallada.

11.1.1 Método para Reforzar la Losa

Se combinan y aplican varios tipos de métodos para la reparación y el Refuerzo de la losa de concreto según el grado de daño. Las medidas correctivas para la losa de la estructura del puente se clasifican según su propósito y método, como se muestra en Tabla 11.1.1.


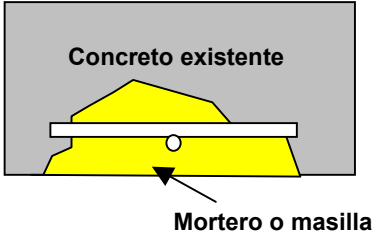
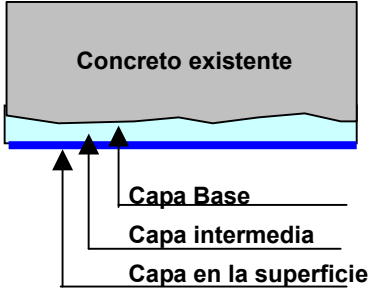
Tabla 11.1.1. Métodos Correctivos para la Losa

Propósito	Medidas Correctivas	Métodos
Reparación o Rehabilitación	Reparación de la grieta	Inyección de la resina de mortero Rellenar de Resina de Mortero
	Restaurar la sección estructural	Restaurar la sección estructural
	Cubierta de Concreto	Cubrir la superficie
	Incrementar la dimensión	Incrementar espesor de losa en la parte superior Incrementar espesor de losa en parte inferior
Refuerzo	Apoyo Adicional	Instalar un larguero adicional
	Reforzar el material adicional	Adherencia de Placa de acero
		Adherencia FRP (Fibra de carbón, otro)
	Reemplazar	Losa de Concreto Reforzado
		Losa de concreto reforzado prefabricado
		Losa prefabricada
		Losa de concreto semi-prefabricado
Losa de acero		
Losa de rejilla		

1) Método de Reparación de la Losa de Concreto

La Tabla 11.1.2 muestra el ejemplo principal del método de reparación para los daños en la losa de concreto, tal como grietas, segregación de limos y descascaramiento. Estas reparaciones son también necesarias para reforzar donde se observan daños.

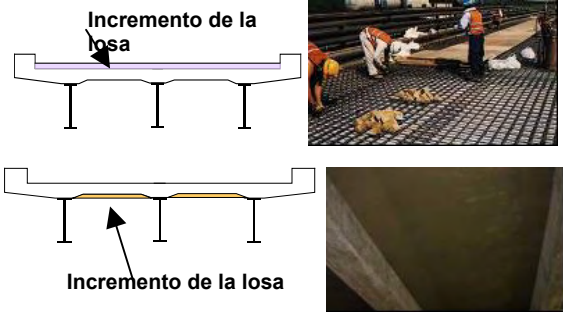
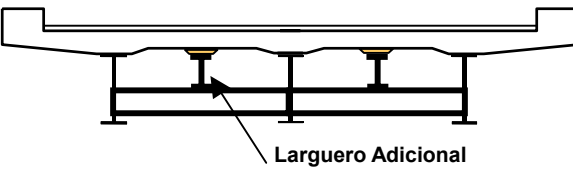
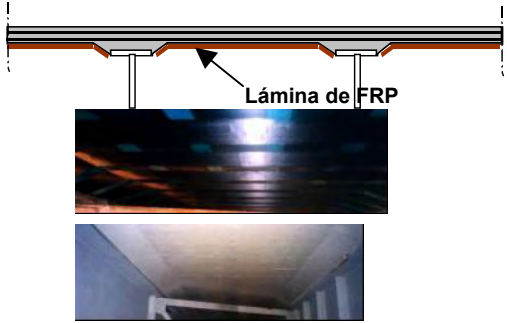
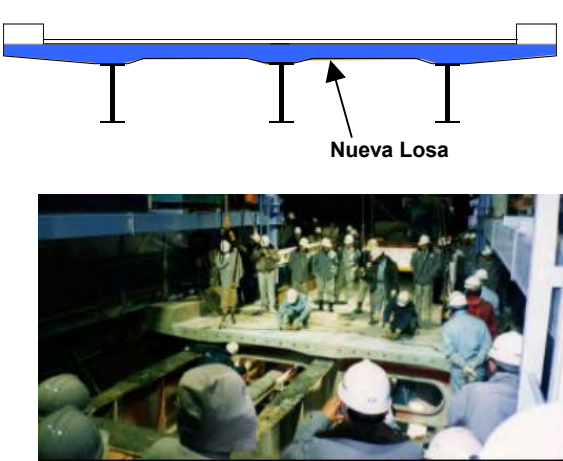
Tabla 11.1.2. Métodos de Reparación para la losa

Método de reparación	Figuras y Fotografías	Descripción del Método
Reparación de la Grieta -Inyección del Mortero de Resina -Rellenar de mortero de resina	 <p>El diagrama muestra una grieta en un concreto con una tubería de inyección que introduce masilla o resina epóxica. La fotografía muestra grietas reales con resina aplicada.</p>	Cortar la superficie del concreto en forma de V o U alrededor de las grietas y rellenarlas con mortero de resina para prevenir que el agua, la sal o el dióxido de carbono penetren. Los materiales de relleno deberán de ser de calidad para poder penetrar la grieta y ser flexibles para ajustarse a esta.
Restaurar la sección estructural	 <p>El diagrama muestra un corte transversal de un concreto existente con una zona dañada que se rellena con mortero o masilla.</p>	Remover las partes dañadas y restaurar la dimensión de la estructura. Los materiales aplicados a la losa deben de tener resistencia adhesiva al concreto original y no pueden oxigenar el acero de refuerzo en el concreto.
Cubierta de la Superficie de Concreto -Cubrir la Superficie	 <p>El diagrama muestra un corte transversal de un concreto existente con una cubierta aplicada en tres capas: Capa Base, Capa intermedia y Capa en la superficie.</p>	Cubrir la superficie del concreto para prevenir que el agua, la sal o dióxido de carbono se filtre. Los materiales de esta cubierta deben de tener esta cualidad resistente al agua y a los factores climáticos.

2) Método de Refuerzo

La Tabla 11.1.3 muestra los ejemplos principales del método de Refuerzo para la losa de concreto. Algunos de los métodos de Refuerzo incrementan el peso de la losa, el método se debe de seleccionar tomando en consideración los efectos de la influencia a la superestructura y la subestructura.

Tabla 11.1.3. Métodos de Refuerzo para la losa

Método de reparación	Figuras y Fotografías	Descripción del Método
<p>Incremento de la Dimensión</p> <ul style="list-style-type: none"> - Incremento del espesor de la losa en la parte superior - Incremento del espesor de la losa en la parte inferior 	 <p>Incremento de la losa</p> <p>Incremento de la losa</p>	<p>Al aumentar la rigidez de la losa se reduce el esfuerzo del acero de refuerzo existente y el concreto.</p> <p>La carga muerta de la losa ha aumentado</p> <p>Se necesita suspender el tráfico cuando se aplica el Método de engrosar la parte superior de la losa</p>
<p>Apoyo Adicional</p> <p>-Instalación de larguero adicional</p>	 <p>Larguero Adicional</p>	<p>Se reduce la longitud del tramo de la losa para reducir el momento de esta</p> <p>Efectivo para los puentes de acero.</p>
<p>Reforzar con material adicional</p> <ul style="list-style-type: none"> -Placa de Adherencia de Acero - Adherencia de FRP 	 <p>Lámina de FRP</p>	<p>Distribuir el esfuerzo al material adicional para reducir el esfuerzo del acero de refuerzo.</p> <p>La placa de acero no se puede adherir a la parte superior de la losa, ya que el pavimento no se puede colocar sobre el acero. Por lo tanto, no es efectiva para el momento negativo en la viga</p>
<p>Reemplazo</p> <ul style="list-style-type: none"> -Losa de Concreto Reforzado -Losa de Concreto Reforzado prefabricada -Losa Prefabricada -Losa Semi prefabricada -Losa de acero -Losa de Rejilla abierta 	 <p>Nueva Losa</p>	<p>Efectivo para una losa grande dañada, la cual no puede ser reforzada.</p> <p>Es necesaria una suspensión de tráfico prolongada</p> <p>Se puede reducir el periodo de construcción con el método prefabricado.</p> <p>La losa de concreto reforzado puede reducir la carga muerta.</p> <p>La losa de acero y la losa de rejilla pueden reducir el peso propio pero es costosa.</p>

11.1.2 Selección del Método de Refuerzo para la Losa

La selección de la reparación o Refuerzo para la losa dañada depende de la capacidad de carga de la losa existente como se muestra en la Figura 11.1.1. es importante evitar incrementar el peso propio de la losa por el Refuerzo, ya que las superestructuras y las subestructuras se necesitan reforzar por el incremento de la carga viva HS20 + 25%.

El método de incremento del espesor incrementa el peso de la losa, lo cual no es ninguna ventaja para la superestructura. Sin embargo este método presenta una ventaja para la losa de concreto reforzado, ya que el incremento de la losa se puede tomar como parte del ala de la viga de concreto reforzado y se puede reducir el esfuerzo de la viga principal por carga muerta.

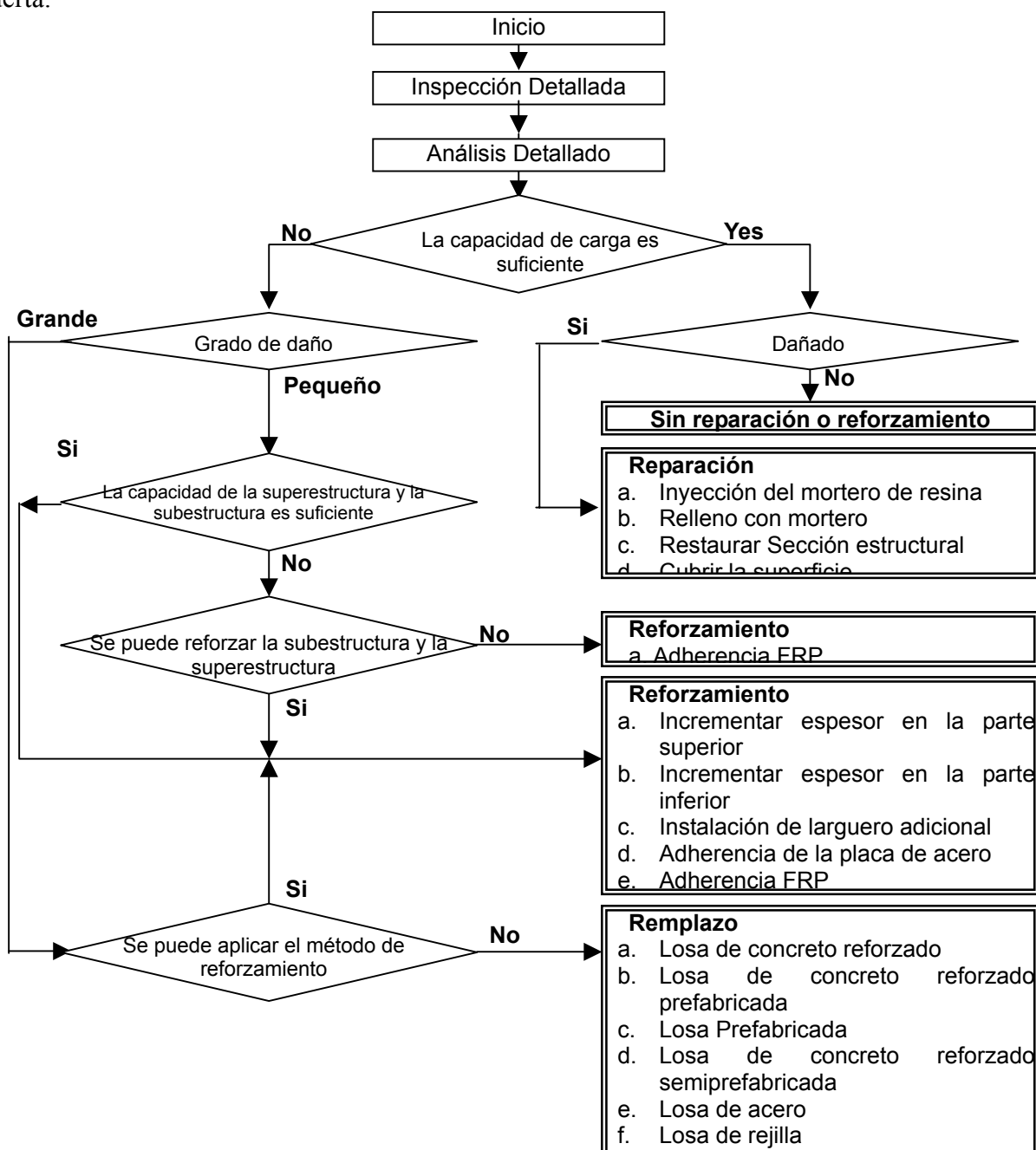


Figura 11.1.1. Selección de Programación para la reparación o refuerzo para la losa

El método aplicable para las diferentes condiciones se muestra en la Tabla 7.2.3.

El momento negativo de la losa es el mismo que el momento positivo estándar que se muestra en AASHTO. Todos los puentes seleccionados con excepción del puente de cajón prefabricado no tienen un pandeo en la losa en la parte superior de la viga. La losa que requiere ser reforzada para el momento positivo también requiere ser reforzada para el momento negativo. No se puede aplicar la adherencia de la placa de acero en la parte superior de la losa, ya que no se puede colocar el pavimento sobre la superficie de acero. La losa que tiene un incremento en la parte inferior de la losa no es efectiva para el momento negativo en la viga.

Por lo tanto, el método de Refuerzo que se aplica para los puentes de concreto reforzado y para los puentes prefabricados solo incrementa el espesor de la losa con el método de Incremento del espesor de la losa en la parte superior y el método de adherencia del FRP y para el puente de acero el método de colocar un larguero adicional se aplica al añadir estos dos métodos.

Tabla 11.1.4. Comparación del Método Aplicable

	Incremento del espesor de la losa		Adherencia		Larguero Adicional
	Parte Superior	Parte Inferior	FRP	Placa de Acero	
Puente de concreto reforzar	OK	OK	OK	OK	NO
Puente prefabricado	OK	OK	OK	OK	NO
Puente de acero	OK	OK	OK	OK	OK
Peso incrementado	Grande	Grande	NO	Pequeño	Pequeño
Momento negativo	OK	NO	OK	NO	OK
Suspensión del tráfico	NO	OK	Aplicable	Aplicable	OK
Capacidad de la viga	Aplicable	NO	OK	OK	OK
Costo	Bajo	Bajo	Mediano	Mediano	Alto

1) Puente de cercha

En los 10 puentes seleccionados existen puentes de tipo cercha, lo cual se observa en el Puente No. 2 sobre el Puente Aranjuez y el Puente No. 3 sobre el Puente Abangares el cual se ubica en la Ruta 1. Los daños en la losa en estos dos puentes de tipo cercha se comparan seriamente con el otro tipo de puente. Especialmente, la losa del Abangares tiene una gran hoyo cerca del bastión, la única vía se cierra al tráfico. Ya que el diseño de carga viva para estos puentes es el HS15, el refuerzo del acero de refuerzo para la carga viva incrementada excede el esfuerzo permitido, lo mismo que en los otros puentes.

Sin embargo, las razones principales que causan los daños en la losa es el daño del larguero del sistema de cubiertas, el cual apoya la losa directamente. En los largueros del puente sobre el río Abangares se observan grietas y pernos fracturados, que fueron causados por la fatiga del acero debido a la carga pesada repetitiva de los camiones. Estos daños ya desarrollados no

pueden ser reforzados y es necesario mejorar el sistema de cubiertas para que no se dañe la losa en ambos puentes. Por lo tanto, se necesita remplazar la losa en estos puentes y usar una losa prefabricada para reducir el peso propio de la losa y para reducir la influencia sobre el tráfico lo máximo posible.



Figura 11.1.2. Daños en la losa del Puente de cercha

2) Puente de Viga tipo I de Acero

De los 10 puentes seleccionados, los puentes existentes de viga tipo I de acero son: el puente No. 12 sobre el río Puerto Nuevo en la Ruta 2, el Puente No. 19 sobre el Río Sarapiquí en la ruta 4 y el Puente No. 26 sobre el Río Chirripó en la Ruta 32. El diseño de la carga viva es el HS20 para el Puente sobre el Río Chirripó y HS15 para los otros puentes. En los tres puentes se observan grietas en dos direcciones. A pesar de la diferencia de la carga de diseño, el grado de daño es casi el mismo para los tres puentes aunque puede ser reforzada. Las razones parecen ser que el volumen de tráfico de los puentes en la Ruta No. 2 y No. 3, que están diseñadas para HS15, las cuales no son tan pesadas de ser comparadas con el Puente en la Ruta 32.

Los tres puentes no pueden suspender el tráfico por un periodo prolongado. Por lo tanto, el método de adherencia de FRP es el más adecuado para reforzar la losa de estos puentes.



Figura 11.1.3. Grieta en la losa del Puente No. 19 sobre el Río Sarapiquí

3) Puente de losa de concreto reforzado

De los 10 puentes seleccionados los que cuentan con losa de concreto reforzado son los siguientes. El puente No. 7 sobre el Río Azufrado en la Ruta 1, el tramo final del puente No. 12 sobre el Río Puerto Nuevo en la Ruta 2 y el puente No.16 sobre el Río Nuevo. Todos estos fueron diseñados con la carga viva HS15 y se requiere incrementar la carga viva en las losas. Además se observan grietas en dos direcciones en las losas.

Para los puentes de concreto reforzado sólo se aplican dos métodos, los cuales se muestran en la Tabla 11.2.4. Las vigas de estos tres puentes no tienen suficiente capacidad para incrementar la carga viva y la carga viva de la losa por lo que es mejor evitar el peso muerto de la losa. Sin embargo, la losa incrementada pueden ser efectiva como parte del ala de la viga de concreto reforzado. Especialmente, para el puente continuo (puente No. 16 sobre el Río Nuevo) y el puente de marco rígido (Puente No. 7 sobre el Río Azufrado), la sección aumentada de la losa es más efectiva para el momento negativo en el apoyo.

En el Puente sobre el Río Puerto Nuevo no se puede suspender el tráfico, ya que no se puede hacer un desvío. Por lo tanto, para el puente sobre el Río Azufrado y el puente sobre el Río Nuevo se selecciona el incremento del espesor de la losa con el método de Incremento del espesor de la losa en la parte superior y para el puente sobre el Río puerto Nuevo se selecciona el método de adherencia de FRP.

4) Puente de Viga tipo I prefabricada

De los 10 puentes seleccionados solamente el Puente No. 29 sobre el Río Torres ubicado cerca de San José en la Ruta 218 es un puente de viga tipo I prefabricada. El esfuerzo del acero de refuerzo del este puente es menor que el esfuerzo permitido para la carga viva incrementada, ya que el puente fue diseñado para la carga viva HS20. Sin embargo, se observan grietas de dos direcciones en muchas partes de la losa debido al pesado volumen de tráfico de 29,5000 por día. Parece que muchos vehículos sobre cargados pasan sobre este puente y la losa se ha dañado debido a la carga de las ruedas pesadas.

Por lo tanto, fue el criterio que para reparar no es suficiente poner mortero en las grietas para mantener la losa en buenas condiciones por un tiempo prolongado y para reforzar este puente lo que se necesita es colocar fibra de concreto.

5) Puente de viga cajón prefabricado

Los puentes de viga cajón prefabricado que se encuentran dentro de los 10 puentes seleccionados son el Puente No. 17 sobre el Río Chirripó en la Ruta 4 y el puente sobre el Río Sucio en la ruta 32. Ambos puentes están diseñados con una carga viva HS20 y la losa presforzada tiene suficiente capacidad de carga para la carga viva incrementada. No se observan daños serios en estos puentes. Por lo tanto, no se necesita reforzar la losa de estos puentes.

11.1.3 Metodología del Diseño para la losa reforzado con Lámina FRP

La metodología del diseño para reforzar la losa con adherencia FRP es el reducir el esfuerzo del acero de refuerzo dentro de la losa existente al distribuir el esfuerzo a las láminas de adherencia de fibra de carbono. Las láminas de fibra de carbono pueden resistir las fuerzas debido a la carga viva y la carga muerta solamente después de la adherencia. La fuerza dada por la carga muerta antes de adherir la lámina de fibra tiene que ser resistida por el acero de refuerzo.

Muchos tipos de materiales de láminas de fibra de carbono se producen para el módulo de resistencia y el módulo elástico. En la Tabla 11.1.5 se muestran las características de la lámina de fibra de carbono típica.

Tabla 11.1.5. Características de la Hoja de Fibra de Carbono Típica

Resistencia	Grande								Pequeña														
	Pequeña																Grande						
Peso unitario	g/m ²	200	300	200	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300						
Espesor	mm	0.111	0.167	0.111	0.167	0.165	0.143	0.143	0.143	0.143	0.143	0.143	0.143	0.143	0.143	0.143	0.143						
Esfuerzo Máximo	N/mm ²	3,400	3,400	2,900	2,900	2,900	1,900	1,900	1,900	1,900	1,900	1,900	1,900	1,900	1,900	1,900	1,900						
	Kgf/cm ²	35,000	35,000	30,000	30,000	30,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000						
Módulo Elástico	N/mm ²	2.3x10 ⁵	2.3x10 ⁵	2.3x10 ⁵	2.3x10 ⁵	3.9x10 ⁵	5.4x10 ⁵	6.4x10 ⁵	6.4x10 ⁵	6.4x10 ⁵	6.4x10 ⁵	6.4x10 ⁵	6.4x10 ⁵	6.4x10 ⁵	6.4x10 ⁵	6.4x10 ⁵	6.4x10 ⁵						
	Kgf/cm ²	2.35x10 ⁶	2.35x10 ⁶	2.35x10 ⁶	2.35x10 ⁶	4.00x10 ⁶	5.50x10 ⁶	6.5x10 ⁶	6.5x10 ⁶	6.5x10 ⁶	6.5x10 ⁶	6.5x10 ⁶	6.5x10 ⁶	6.5x10 ⁶	6.5x10 ⁶	6.5x10 ⁶	6.5x10 ⁶						

La resistencia de las láminas de fibra es de 7 o 8 veces mayor al del material de acero, como se muestra en la Figura 11.1.4.

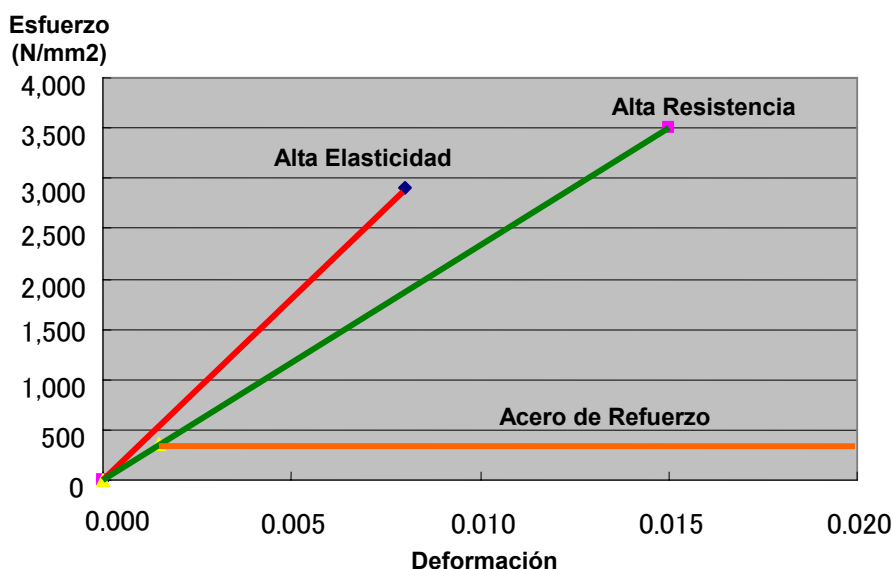


Figura 11.1.4. Curva de Esfuerzo/ Deformación

1) Programa del Diseño para la Adherencia del FRP

El Programa del Diseño para los miembros que serían reforzados con la adherencia del FRP se muestra en la Figura 11.1.5.

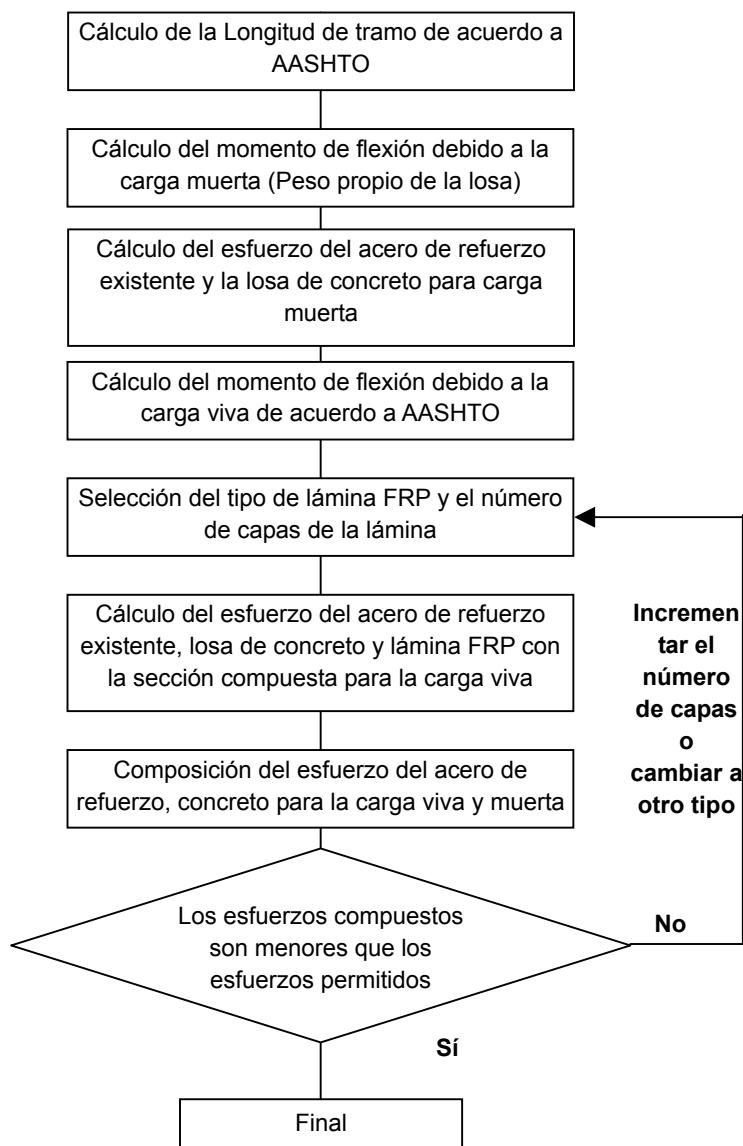


Figura 11.1.5. Programa del Diseño para la losa de la adherencia FRP

El esfuerzo del acero de refuerzo en la losa existente, el cual está compuesto de los esfuerzos debido a la carga viva y a la carga muerta, debe ser menor que el esfuerzo permitido. La lámina de fibra de carbono tiene un valor alto de esfuerzos permitidos, el cual es un tercio de la resistencia especificada, el esfuerzo de la fibra es normalmente menor que el esfuerzo permitido. El número requerido de capas de de láminas de fibra se selecciona por el esfuerzo del acero de refuerzo.

2) Método de Verificación de esfuerzo para la adherencia de FRP

A continuación se observa el método de verificación del esfuerzo para la losa de adherencia de FRP.

1. Momento de Flexión **M_d** y esfuerzo del acero de refuerzo y el concreto debido a la **carga muerta**

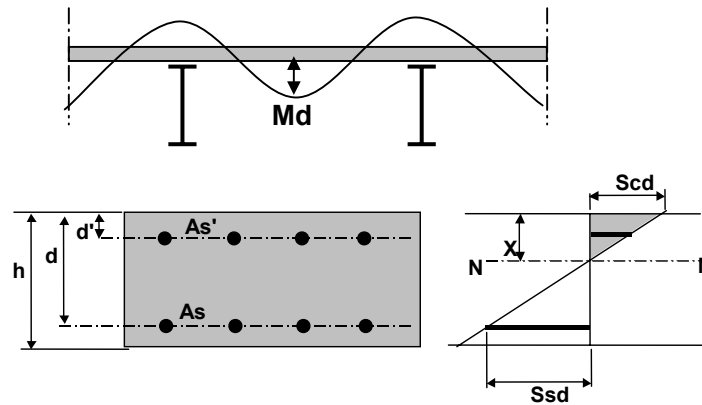


Figura 11.1.6. Momento y esfuerzo debido a la carga muerta

Esfuerzo del concreto debido a la carga muerta $S_{cd} = M_d \times X / I$
 Esfuerzo del acero de refuerzo debido a la carga muerta $S_{sd} = M_d \times n (d - X) / I$
 Donde,

- Md : Momento de flexión debido a la carga muerta
- X: Distancia entre neutrales
- n: Módulo Promedio entre el concreto y el acero de refuerzo
- d: Distancia entre el acero de tensión y el lado de compresión del borde del concreto
- I: Momento de inercia de la sección de la losa de concreto reforzado

2. Momento de Flexión **ML** y esfuerzo del acero de refuerzo, concreto y lámina FRP debido a la carga viva.

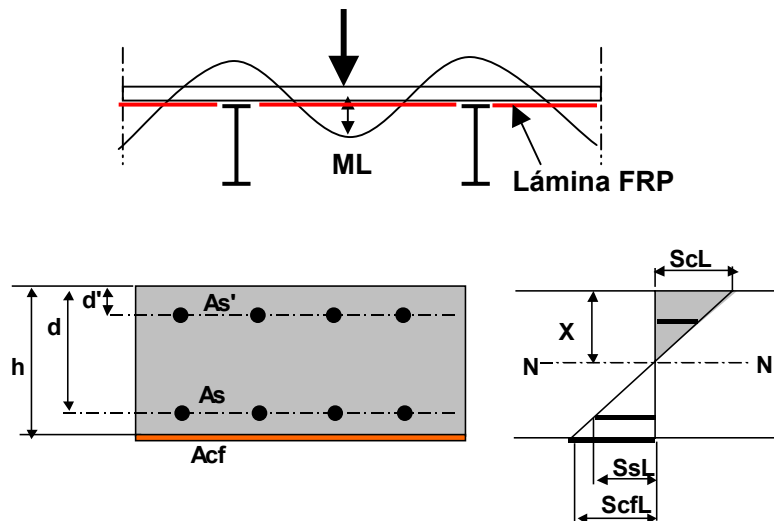


Figura 11.1.7. Momento y esfuerzo debido a la carga viva

Esfuerzo del concreto debido a la carga viva $S_{cL} = ML \times X / I_p$
 Esfuerzo del acero de refuerzo debido a la carga viva $S_{sL} = ML \times n (d - X) / I_p$
 Esfuerzo de FRP debido a la carga viva $S_{cfL} = ML \times n_{sp} (h - X) / I_p$

Where,

- ML : Momento de Flexión debido a la carga viva
- nsp: Módulo promedio entre el Concreto y el FRP
- I_p: Momento de inercia para la sección de la losa de concreto reforzado con FRP

3. Esfuerzo del acero de refuerzo, concreto y lamina FRP debido a la carga viva y a la carga

muerta

Todos los esfuerzos del concreto, del acero de refuerzo y de la lámina FRP deben de ser menores que el esfuerzo permitido respectivo.

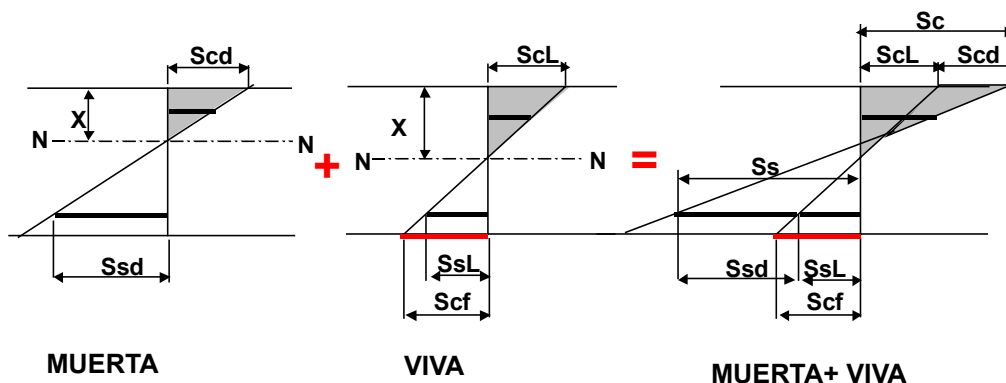


Figura 11.1.8. Esfuerzo debido a la Carga muerta y la carga viva

$$\begin{aligned} \text{Esfuerzo del concreto debido a la carga muerta + carga viva} & \quad \mathbf{Sc = Scd + ScL < Sca} \\ \text{Esfuerzo del acero de refuerzo debido a la carga muerta + carga viva} & \quad \mathbf{Ss = Ssd + SsL < Ssa} \\ \text{Esfuerzo del FRP debido a la carga muerta + carga viva} & \quad \mathbf{Scf = ScfL < Scfa} \end{aligned}$$

Donde,

- Sca : Esfuerzo permitido del concreto
- Ssa: Esfuerzo permitido del acero de refuerzo
- Scfa: Esfuerzo permitido de la lámina de FRP

11.1.4 Metodología del Diseño de la Losa reforzada al incrementar el espesor de la losa

La metodología del diseño para reforzar la losa al incrementar el espesor de la losa es el reducir el esfuerzo del acero de refuerzo dentro de la losa existente al incrementar la sección transversal de la losa. La sección original tiene que resistir las fuerzas de la carga muerta incluyendo la carga muerta adicional al incrementar la sección incrementada. La sección incrementada puede sólo resistir por la fuerza de la carga viva y la carga muerta del pavimento.

El esfuerzo del acero de refuerzo y el concreto en la sección original, se dan por la carga muerta que permanece aún después de incrementar el espesor de la losa. Por lo tanto, el esfuerzo de la sección original se puede reducir para la carga viva de la misma manera que en el método de adherencia FRP.

1) Programa del Diseño para incrementar el espesor de la losa

En la Figura 11.1.9 se muestra el Programa del Diseño para la losa que consiste en el Refuerzo con el método de incremento del espesor de la losa. El esfuerzo del acero de refuerzo en la losa original, la cual está compuesta del esfuerzo que se da por la carga muerta y la carga viva debe de ser menor al esfuerzo permitido.

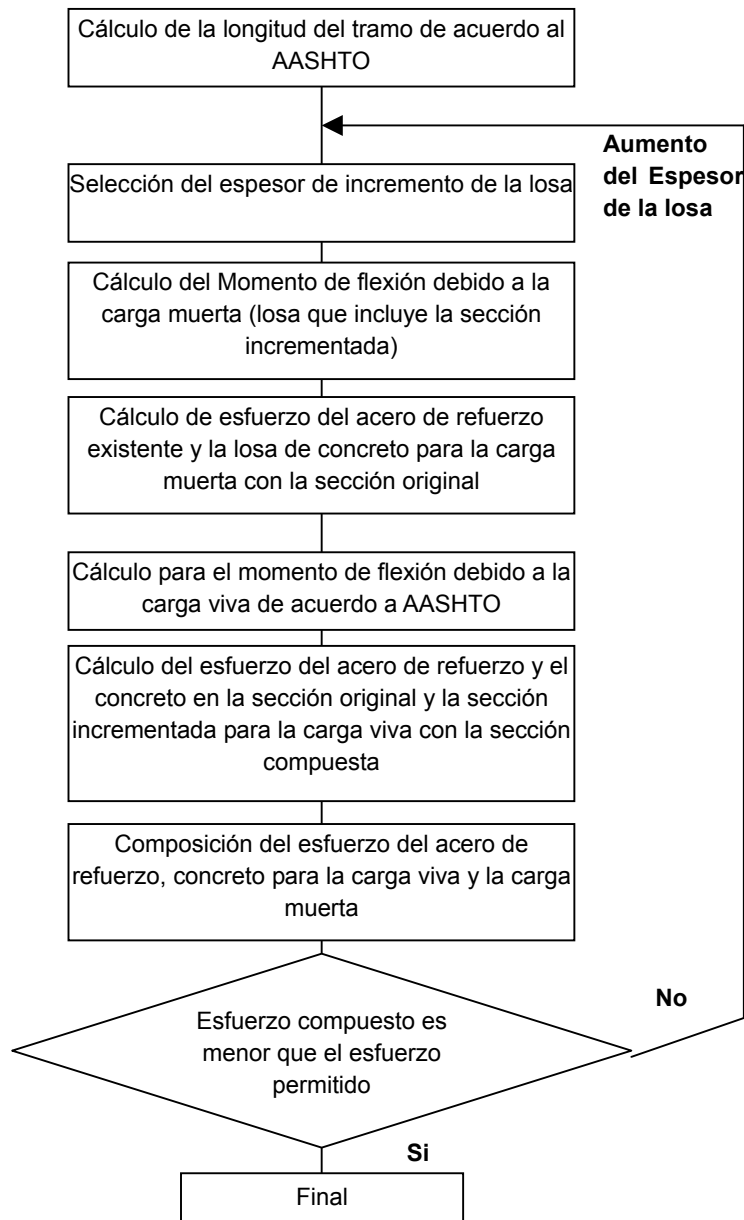


Figura 11.1.9. Programa del Diseño para incrementar el espesor de la losa

2) Método de Verificación del esfuerzo para incrementar el espesor de la losa

A continuación se describe el método para verificación del esfuerzo para incrementar el espesor de la losa.

1. Momento de flexión M_d y esfuerzo del acero de refuerzo debido a la **carga muerta** que incluye el peso de la losa incrementada.

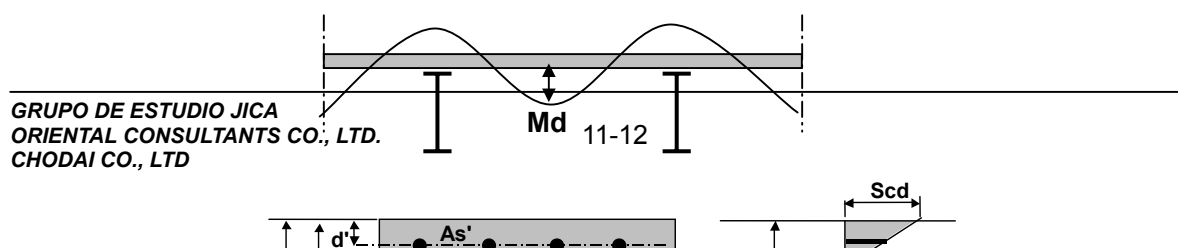


Figura 11.1.10. Momento y Esfuerzo debido a la carga muerta

Scd : esfuerzo del concreto debido a la carga muerta

Ssd : esfuerzo del acero de refuerzo debido a la carga muerta

2. Momento de flexión **ML** y esfuerzo del acero de refuerzo y el concreto debido a la carga viva de la sección incrementada.

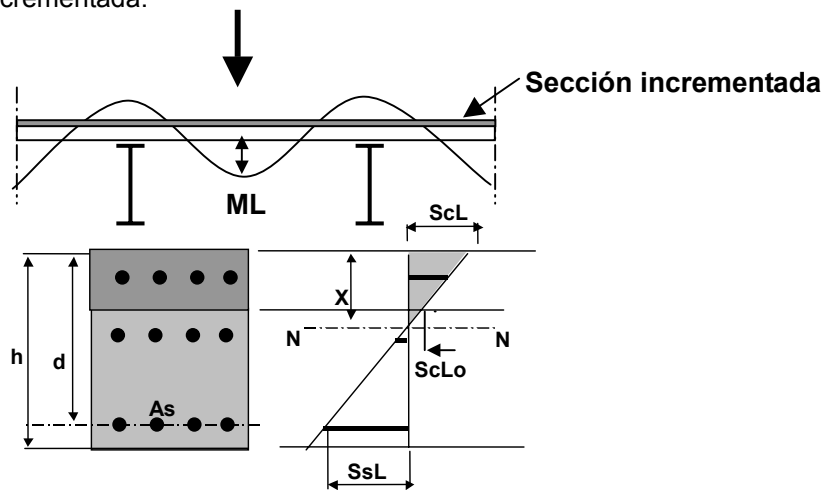


Figura 11.1.11. Momento y esfuerzo debido a la carga viva

ScL : Esfuerzo del concreto en la nueva superficie debido a la carga viva

ScLo : Esfuerzo del concreto en la superficie original debido a la carga viva

SsL : Esfuerzo del acero de refuerzo debido a la carga viva

3. Composición del esfuerzo del acero de refuerzo y el concreto debido a la carga viva y a la carga muerta.

Todos los esfuerzos compuestos del concreto y el acero de refuerzo y la lámina de FRP debe de ser menor que el esfuerzo permitido para cada uno de estos.

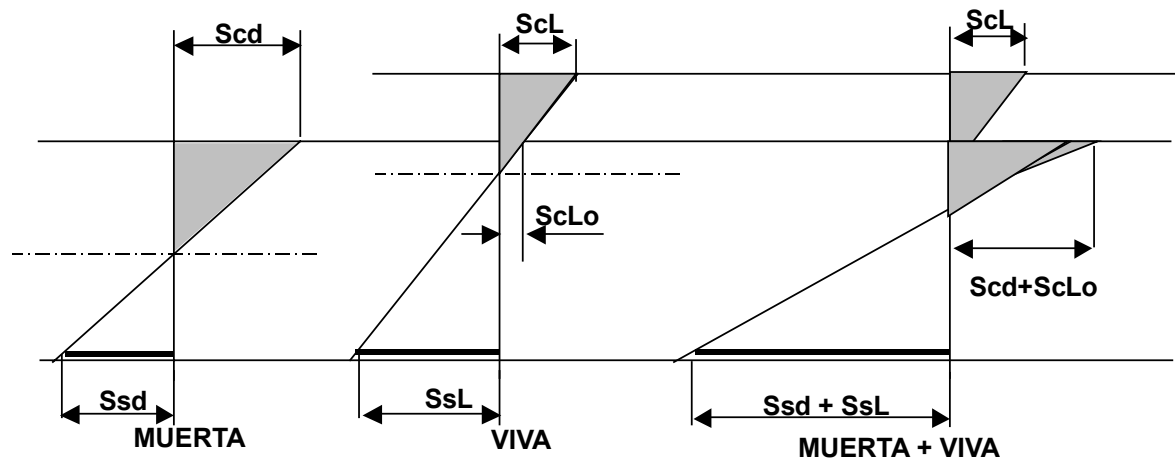


Figura 11.1.12. Esfuerzo debido a la carga viva y a la carga muerta

Esfuerzo del concreto en la nueva superficie	$S_{cn} = S_{cL} < S_{ca}$
Esfuerzo del concreto en la superficie original	$S_{co} = S_{cd} + S_{cLo} < S_{ca}$
Esfuerzo del acero de refuerzo en la sección original	$S_s = S_{sd} + S_{sL} < S_{sa}$

11.1.5 Condición existente y condición después del Refuerzo

Los siete puentes necesitan ser reforzados o reemplazar la losa para el incremento de carga viva HS20 + 25 y el incremento de carga muerta del pavimento asfáltico (5cm), a excepción del puente No. 17 sobre el Río Chirripó, el Puente No. 20 sobre el río Sucio y el Puente No. 29 sobre el Río Torres.

El esfuerzo del acero de refuerzo del Puente No. 29 sobre el Río Torres es menor al esfuerzo permitido para la carga viva incrementada, ya que este puente fue diseñado para la carga viva HS20. Sin embargo, se observan grietas en dos direcciones en muchas partes de la losa debido al volumen de tráfico pesado de 29,500 por día. Parece ser que muchos camiones con sobre carga transitan este puente y se ha dañado la losa debido al golpe de las ruedas. Por lo tanto, fue el criterio que para reparar no es suficiente poner mortero en las grietas para mantener la losa en buenas condiciones por un tiempo prolongado y para reforzar este puente lo que se necesita es colocar fibra de concreto.

En la Tabla 11.1.6. se muestra los métodos de Refuerzo y las condiciones de esfuerzo de ambos antes y después del Refuerzo para los 8 puentes.

Tabla 11.1.6. Comparación de las Condiciones de la losa

Puente No.	Nombre del puente	Condiciones Existentes para cargas Incrementadas				Conditions after Reinforcement						
		Espesor de la losa (Mm)	Área del acero de refuerzo (cm ² /m)	Esfuerzo (N/mm ²)		Método de Reforzam (Losa prefab.)	Espesor de la losa (mm)	Área del acero de refuerzo (cm ² /m)	Capas FRP	Esfuerzo (N/mm ²)		
				Concreto (7.40)	Acero de refuerzo (138)					Concreto (7.40)	Acero de refuerzo (138)	FRP (633)
2	Aranjuez	17.78	11.13	7.95	224	reemplazar (Losa prefab.)	16.0	-	-	-	-	-
3	Abangares	16.51	11.13	6.14	173	reemplazar (Losa prefab.)	16.0	-	-	-	-	-
7	Azufrado	16.51	11.13	8.18	203	Incrementar	25.51	11.13	-	2.77	93	-
12	Puerto Nuevo (Puente de Acero)	17.78	11.13	7.50	211	Adherencia FRP	17.78	11.13	1	6.04	136	478
	Puerto Nuevo (Puente de concreto reforzado)	16.51	11.13	7.73	203	Adherencia FRP	16.51	11.13	1	6.11	127	476
16	Nuevo	16.51	11.13	8.18	203	Incrementar	25.51	11.13	-	2.77	93	-
19	Sarapiquí	17.0	11.13	5.93	163	Adherencia FRP	17.0	11.13	1	4.90	114	390
26	Chirripó	17.0	14.49	6.76	136	Adherencia FRP	17.0	14.49	1	5.85	121	426
29	Torres	18.0	15.34	5.76	136	Incrementar	-	-	-	-	-	-

11.2 Sistema de Cubiertas

11.2.1 Método para Reforzar el Sistema de Cubiertas

Varios tipos de métodos se aplican para el Refuerzo del sistema de cubiertas del puente dependiendo de la capacidad que se necesita al reforzar. Los métodos de Refuerzo para el sistema de cubiertas del puente se clasifican según su propósito como se muestra en la Tabla 11.2.1.

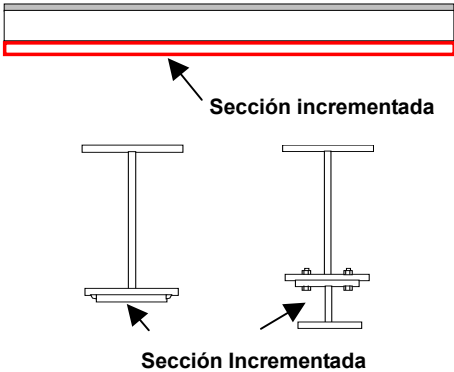
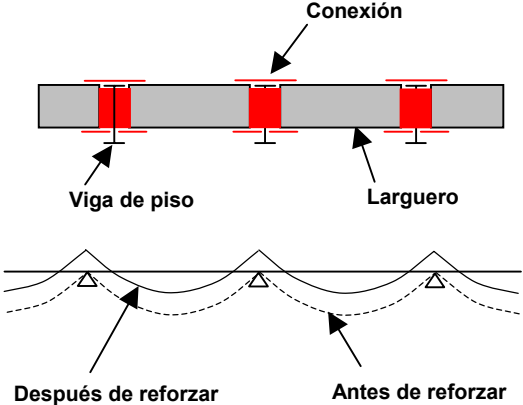
Tabla 11.2.1. Método de Refuerzo para el Sistema de Cubiertas

Propósito	Medidas Correctivas	Métodos	Larguero	Diafragma
Reduce el Esfuerzo de la sección	Dimensión Incrementada	Incrementar el espesor de la placa de acero (Placa de Cubierta)	Ap.	Ap.
		Incrementar sección del miembro	Ap.	Ap.
Reduce la Fuerza de la sección	Introducir pre-esfuerzo	Cambiar de vigas simples a vigas continuas	Ap.	-

Ap. : Aplicable

La Tabla 11.2.2 muestra el ejemplo principal del método de Refuerzo para el sistema de cubiertas.

Tabla 11.2.2. Método de Refuerzo para el Sistema de Cubiertas

Método de Refuerzo	Figuras	Descripción del Método
<p>Dimensión incrementada</p> <ul style="list-style-type: none"> - Incrementar del espesor de la placa de acero - incremento de la sección del miembro 		<p>Incrementar la inercia de la sección y reducir el esfuerzo del miembro original.</p> <p>La consideración se necesita especialmente para las juntas recién puestas, para que no interfieran con los miembros existentes y los materiales.</p>
<p>Sistema Estructural reconstruido</p> <ul style="list-style-type: none"> -Cambiar el sistema de carga 		<p>Cada viga simple se reemplaza a una viga fija. Por lo tanto, las cargas que actúan (muerta, viva, etc.) se sostienen por una viga continua.</p>

11.2.2 Selección del Método de de Refuerzo para el Sistema de Cubiertas

Los puentes de tipo cercha son: el Puentes No. 2 sobre el Río Aranjuez y el Puente No. 3 sobre el Río Abangares, los cuales se ubican sobre la Ruta 1. De los 10 puentes seleccionados sólo estos tienen un sistema de cubiertas. El diseño para la carga viva de estos puentes es HS15, el esfuerzo del sistema de cubiertas para la carga viva incrementada excede el esfuerzo permitido.

1) Larguero

El Puente No 2 sobre el Río Aranjuez y el Puente No. 3 sobre el Río Abangares tienen el mismo tipo de larguero. La grieta de la placa de conexión y el daño del perno se encuentran en la inspección detallada. La causa del daño se basa en la fatiga.

Como método de refuerzo del larguero se adopta el método de cambiar de viga simple a viga continua. La razón de este cambio se da por las siguientes razones:

- la condición original es de estructura de viga simple
- La estructura de viga continua tiene una durabilidad de fatiga alta.
- El incremento en la sección de acero no es necesario y no hay un incremento en la

carga muerta.

2) Diafragma

El Puente No. 2 sobre el Río Aranjuez y el Puente No. 3 sobre el Río Abangares tienen el mismo tipo de diafragma. El incremento de la sección del miembro se ha adoptado como el método de refuerzo del diafragma, por las siguientes razones:

- Se mejora la rigidez de la viga y se reduce el esfuerzo secundario que causa la fatiga.
- El espacio debajo de la viga del peso es suficiente.

11.2.3 Metodología de Diseño para reforzar el Sistema de Cubiertas

1) Larguero

(1) Programa del Diseño para el Larguero

En la Figura 11.2.1 se muestra el programa de diseño para reforzar el larguero usando el método que cambia de viga simple a viga continua.

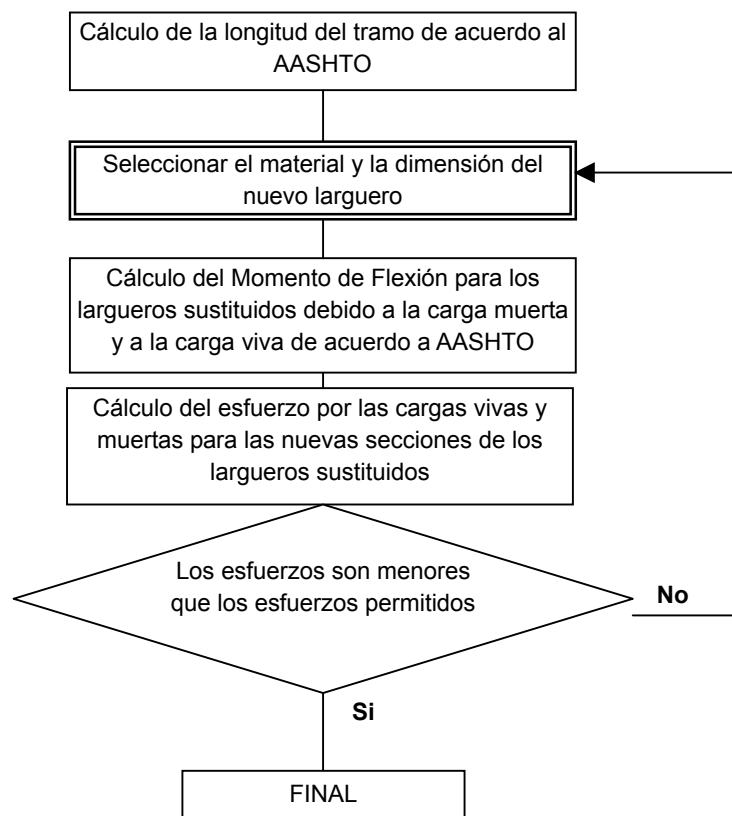


Figura 11.2.1. Programa del Diseño para el Larguero usando el método de cambiar de viga simple a viga continúa.

(2) Método de Verificación para Cambiar de Viga Simple a Viga Continua

1. Análisis Estático para la nueva estructura

Para reconstruir, los largueros se sustituyen con otros nuevos, los cuales se deben de fijar al diafragma. Como se muestra en la figura de abajo, el sistema estructural de vigas simples múltiples se cambia por un sistema estructural de vigas continuas. Una vez reconstruido, se le debe de realizar un análisis estático.

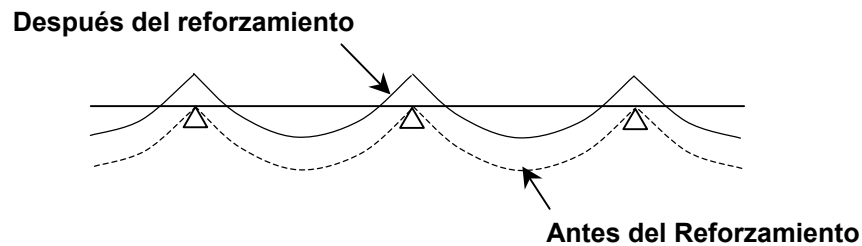


Figura 11.2.2. Momento de flexión

2. Verificar el esfuerzo para los nuevos miembros añadidos

A continuación, se realiza el procedimiento de verificación de esfuerzo y el resultado es la respuesta del análisis estático. Este procedimiento es casi el mismo que el realizado que en una estructura diseñada nueva. Una de las diferencias yace en que los materiales y las dimensiones de otros miembros existentes ya están fijos.

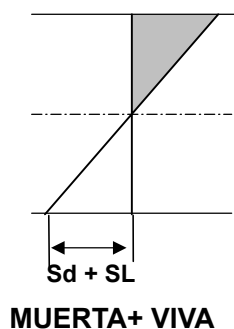


Figura 11.2.3. Esfuerzo debido a la carga muerta y a la carga viva

Los esfuerzos del larguero nuevo debido a la carga muerta + la carga viva

$$S = S_d + S_L < S_a$$

Donde, S_d : Esfuerzo de flexión debido a la carga muerta

S_L : Esfuerzo de flexión debido a la carga viva

S_a : Esfuerzo permitido del miembro existente

2) Diafragma

(1) Programa de Diseño del Diafragma

En la Figura 11.2.4. se muestra el programa de diseño para reforzar el diafragma al incrementar la sección del miembro.

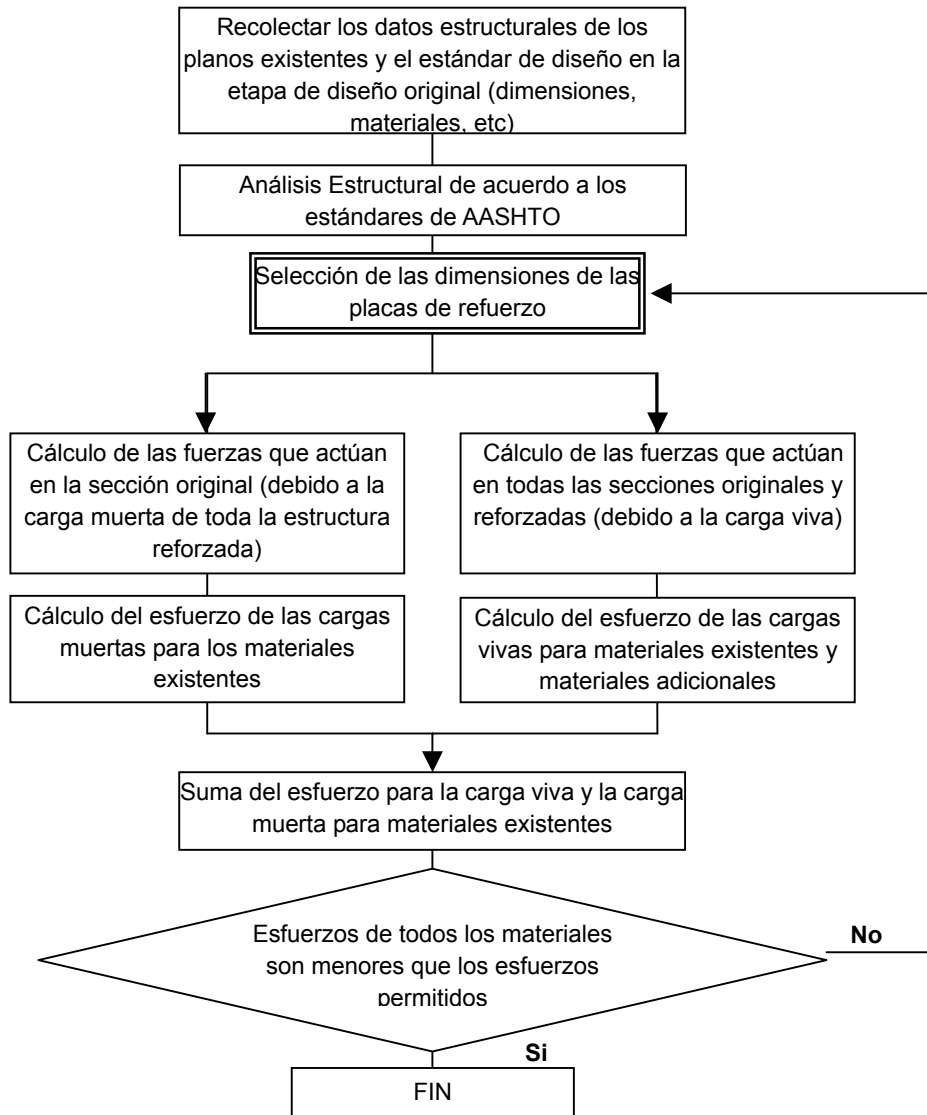


Figura 11.2.4. Programa del Diseño para el diafragma por el incremento de la sección del miembro.

(2) Método de Verificación de esfuerzo para incrementar la sección del miembro

Se añade una viga tipo H de Refuerzo adicional en el lado inferior del diafragma o el larguero existente. De nuevo, la carga viva y la carga muerta se calculan de manera separada

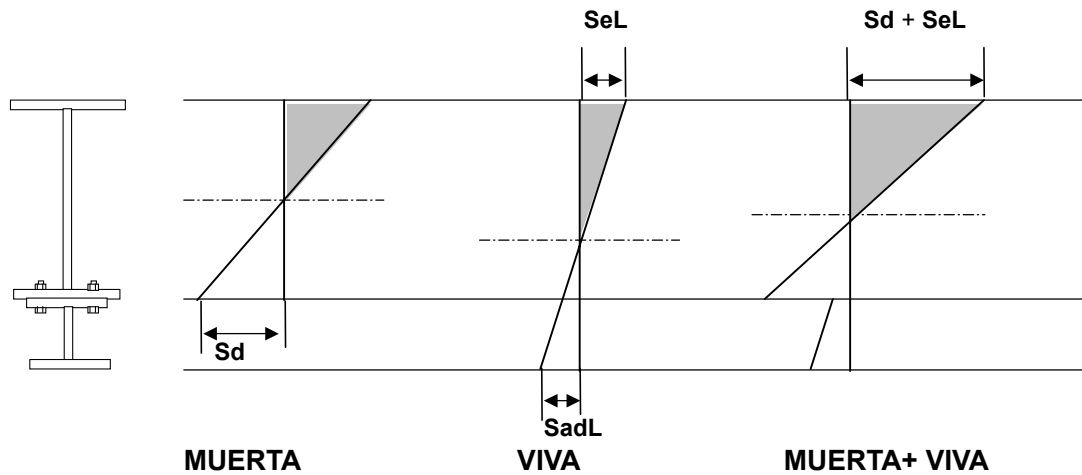


Figura 11.2.5. Esfuerzo producido por la carga muerta y la carga viva

Esfuerzo de los materiales existentes debido a la carga muerta + la carga viva

$$S = S_d + S_{eL} < S_{e-a}$$

Esfuerzo de la sección tipo H añadida debido a la carga muerta

$$S = S_{adL} < S_{ad-a}$$

Donde, S_d : Esfuerzo de flexión por las cargas muertas
 S_{eL} , S_{adL} : Esfuerzo de flexión por las cargas vivas
 S_{e-a} : Esfuerzo permitido del miembro existente
 S_{ad-a} : Esfuerzo permitido del la viga tipo H adicional

11.2.4 Condición Existente y Condición Después de Refuerzo

En las siguientes tablas se muestra el esfuerzo antes y después de reforzar.

1) Larguero

El larguero del Puente No. 2 sobre el Río Aranjuez y el Puente No. 3 sobre el Río Abangares no tienen la suficiente capacidad para la carga viva incrementada. Sin embargo, se refuerzan ambos puentes con el método de cambiar de vigas simples a vigas continuas y han confirmado tener capacidad suficiente para la carga viva HS20+25%.

Tabla 11.2.3. Comparación del Larguero

Puente No.	Nombre del Puente	Condiciones existentes		Condiciones para reforzar		Esfuerzo Aplicable (N/mm ²)	
		Esfuerzo sobre posición	Esfuerzo (N/mm ²)	Método de Refuerzo	Esfuerzo (N/mm ²)		
2	Aranjuez	Centro del Tramo	In.	143	Cambiar de Viga simple a viga continua	116	125
			Ex.	131		86	125
		En el apoyo	In.	-		64	125
			Ex.	-		74	125
3	Abangares (129ft)	Centro del Tramo	In.	166		125	125
			Ex.	166		114	125
		En el apoyo	In.	-		65	125
			Ex.	-		79	125
	Abangares (200ft)	Centro del apoyo	In.	174		125	125
			Ex.	174		100	125
		En el apoyo	In.	-		63	125
			Ex.	-		84	125

In.: Viga Interna

Ex.: Viga Externa

2) Diafragma

El diafragma del Puente No. 2 sobre el Río Aranjuez y el Puente No. 3 sobre el Río Abangares no tienen capacidad suficiente para la carga viva incrementada. Sin embargo, ambos puentes se refuerzan por incrementar la sección del miembro y se ha confirmado que tienen suficiente capacidad a la carga viva HS20+25%.

La viga tipo H usada para Incrementar la sección del miembro en cada puente es la siguiente:

No.2 Aranjuez: W12x65

No.3 Abangares(129ft): W14x74

No.3 Abangares(200ft): W14x90

Tabla 11.2.4. Comparación del Diafragma

Puente No.	Nombre del Puente	Condiciones existentes		Condiciones para reforzar		Esfuerzo Aplicable (N/mm ²)
		Esfuerzo sobre posición	Esfuerzo (N/mm ²)	Método de Refuerzo	Esfuerzo (N/mm ²)	
2	Aranjuez	Centro del Tramo	141	Incremento de la sección del miembro	110	125
3	Abangares (129ft)		141		118	125
	Abangares (200ft)		160		125	125

11.3 Viga Principal

11.3.1 Método para Reforzar la Viga Principal

Diferentes tipos de métodos se aplican para reforzar las vigas principales del Puente dependiendo del tipo de puente y la capacidad requerida en el Refuerzo. Los métodos de Refuerzo para las vigas principales del puente se clasifican según su propósito en la Tabla 11.3.1.

Tabla 11.3.1. Método de Refuerzo para la viga Principal

Propósito	Medidas Correctivas	Métodos	Puente de concreto reforzadas	Puente prefab.	Puente de Acero
Reducir el esfuerzo de la sección	Incrementar la dimensión	Incrementar alto de la viga	Ap.	-	-
		Incrementar espesor de la placa de acero (placa de cubierta)	-	-	Ap
		incrementar	-	-	Ap
	Reforzar con material adicional	Adherencia de Placa de acero	Ap.	Ap.	-
		Adherencia FRP (Fibra de carbón, otros)	Ap.	Ap	-
Reducir la fuerza de la sección	Construir miembro adicional	Añadir miembro	Ap.	-	Ap
	Introducir pre-esfuerzo	Añadir cable externo	Ap	Ap.	Ap.
	Apoyo Adicional	Apoyo Adicional	Ap	Ap.	Ap.

Ap. : Aplicable

Las Tablas 11.3.2, 11.3.3, 11.3.4, y 1.3.5 muestran los ejemplos principales del método de Refuerzo para el puente de losa de concreto reforzado, puente de viga tipo I prefabricado, puente de viga de cajón prefabricado y puente de viga tipo I de acero, respectivamente.

Tabla 11.3.2. Métodos de Refuerzo para Puentes de losa de concreto reforzado

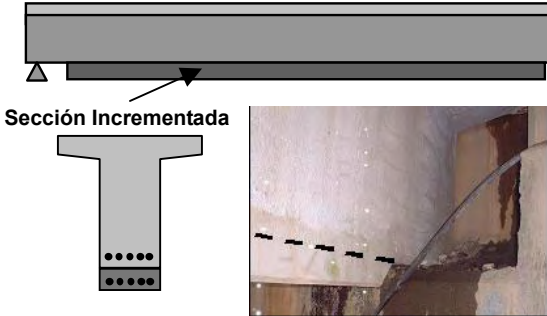
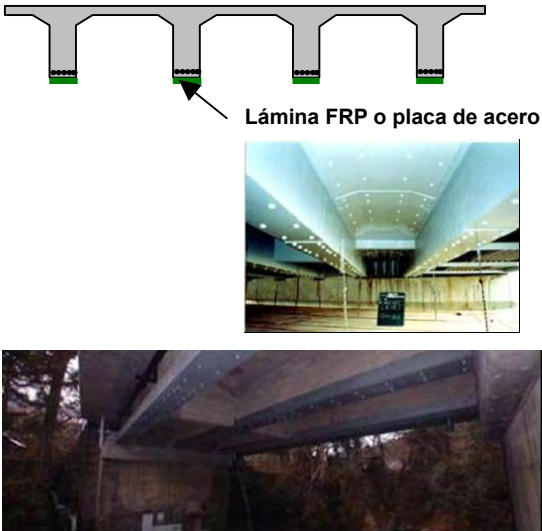
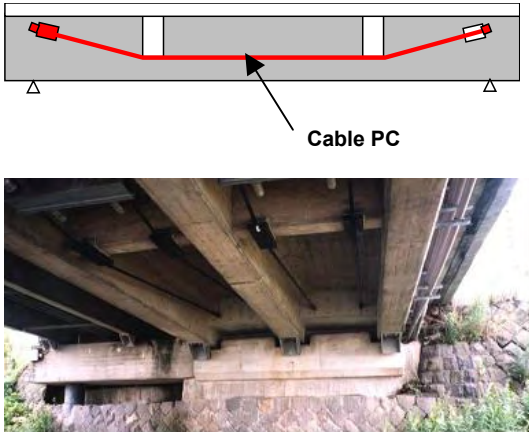
Método de Refuerzo	Figuras y Fotografías	Descripción del Método
<p>Incrementar la Dimensión - Incrementar el alto de la viga</p>	 <p>Sección Incrementada</p>	<p>Al aumentar la rigidez de la viga de concreto reforzado para reducir el esfuerzo del acero de refuerzo y el concreto existente. Se ha incrementado la carga muerta de la viga.</p>
<p>Reforzar con material adicional -Adherencia de Placa de acero -Adherencia FRP</p>	 <p>Lámina FRP o placa de acero</p>	<p>Distribuir el esfuerzo al material adicional para reducir el esfuerzo del acero de refuerzo. El peso incrementado por este método es pequeño y se puede ignorar el peso de la lámina FRP. El trabajo de adherencia del FRP es más fácil que el de la placa de acero. La placa de acero no se puede adherir en la parte superior de la losa, ya que el pavimento no se puede colocar sobre el acero. Por lo que no es efectivo para el momento negativo sobre la viga.</p>
<p>Introducir el pre-esfuerzo -Añadir cable externo</p>	 <p>Cable PC</p>	<p>Efectivo para reducir el esfuerzo del acero de refuerzo, pero se aumenta el esfuerzo del concreto. No se necesita suspender el tráfico. Es más costoso.</p>

Tabla 11.3.3. Métodos de Refuerzo para el Punte de Viga tipo I prefabricada

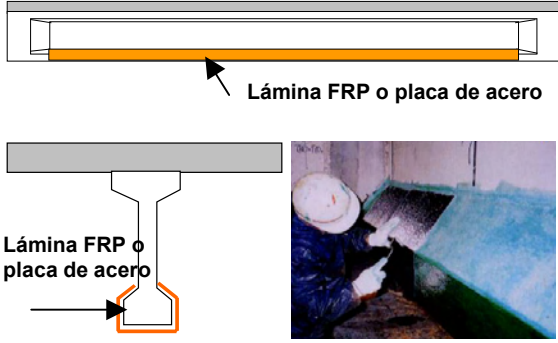
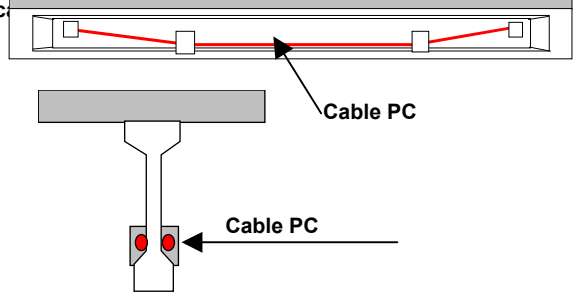
Método de Refuerzo	Figuras y Fotografías	Descripción del Método
<p>Reforzar con material adicional</p> <p>-Adherencia de Placa de acero</p> <p>-Adherencia FRP</p>	 <p>Lámina FRP o placa de acero</p> <p>Lámina FRP o placa de acero</p>	<p>Distribuir el esfuerzo al material adicional para reducir el esfuerzo del acero de refuerzo. El peso incrementado por este método es pequeño y se puede ignorar el peso de la lámina FRP.</p> <p>El trabajo de adherencia del FRP es más fácil que el de la placa de acero.</p> <p>La placa de acero no se puede adherir en la parte superior de la losa, ya que el pavimento no se puede colocar sobre el acero. Por lo que no es efectivo para el momento negativo sobre la viga.</p>
<p>Introducir pre-esforzado</p> <p>-Añadir cable externo</p>	 <p>Cable PC</p> <p>Cable PC</p>	<p>Efectiva para reducir el esfuerzo de tensión del concreto, pero aumenta el esfuerzo del concreto.</p> <p>No se necesita suspender el tráfico.</p> <p>Es costoso.</p>

Tabla 11.3.4. Método de Refuerzo para el Puesto de cajón prefabricado

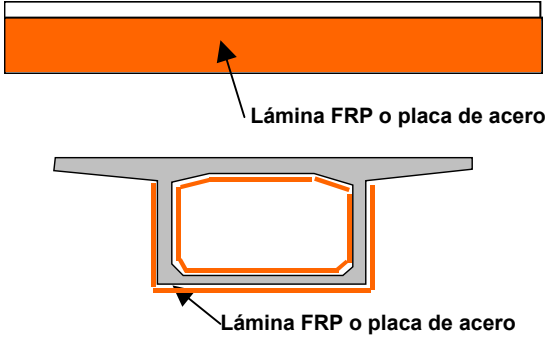
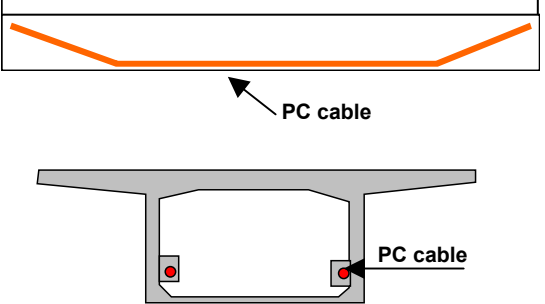
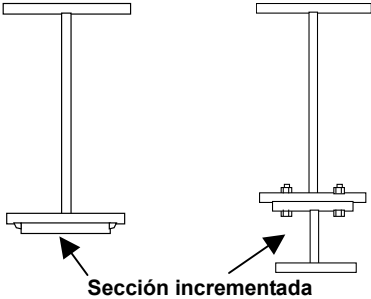
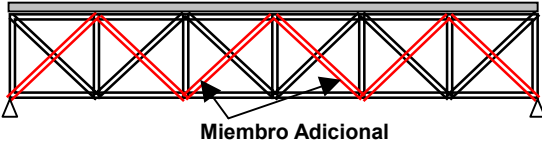
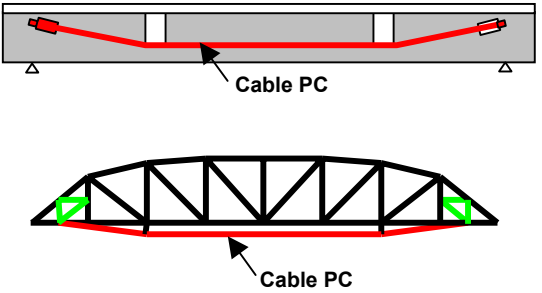
Método de Refuerzo	Figuras y Fotografías	Descripción del Método
<p>Reforzar con material adicional</p> <p>-Adherencia de Placa de acero</p> <p>-Adherencia FRP</p>		<p>Distribuir el esfuerzo al material adicional para reducir el esfuerzo del acero de refuerzo.</p> <p>El peso incrementado por este método es pequeño y se puede ignorar el peso de la lámina FRP.</p> <p>El trabajo de adherencia del FRP es más fácil que el de la placa de acero.</p> <p>Ambos métodos se usan para incrementar la capacidad para la fuerza cortante y reforzar la parte superior de la losa.</p>
<p>Introducir pre-esforzado</p> <p>-Añadir cable externo</p>		<p>Es el método más efectivo y común para la viga cajón prefabricada para reducir el esfuerzo de tensión del concreto, pero aumenta el esfuerzo de compresión.</p> <p>No se necesita suspender el tráfico.</p> <p>Es costoso.</p>

Tabla 11.3.5. Métodos de Refuerzo de Puentes de Acero

Método de Refuerzo	Figuras y Fotografías	Descripción del Método
Incrementar Dimensión - Incrementar el espesor de la placa de acero - Incrementar sección del miembro		Incrementar la inercia de la sección y reducir el esfuerzo del miembro original. Para las partes de conexión, se necesita de un arreglo especial para evitar los pernos. Se ha aumentado la carga muerta de la viga.
Construir miembro adicional - Añadir miembro		Distribuir el esfuerzo al material adicional para reducir el esfuerzo del miembro original.
Introducir pre-esfuerzo - Añadir cable externo		Efectivo para reducir el esfuerzo del miembro, pero se necesita reforzar en el anclaje del cable. Más costoso.

11.3.2 Selección del método de refuerzo para la viga principal

1) Puente de cercha (Puente No.2 sobre el Río Aranjuez y Puente No.3 sobre el Río Abangares)

Los puentes de cercha son los puentes No. 2 sobre el Río Aranjuez y Puente No.3 sobre el Río Abangares los cuales están ubicados en la Ruta 1. Ya que la carga viva del diseño es HS15, el esfuerzo de algunas partes del miembro para la carga viva incrementada excede el esfuerzo permitido.

(1) Puente No.2 sobre el Río Aranjuez

Para la carga viva incrementada, la cuerda inferior, el miembro vertical y el miembro diagonal cerca del apoyo en las pilas excede el esfuerzo permitido. Es imposible incrementar la sección del miembro debido a su forma y a la condición de la conexión. No se puede introducir el preesfuerzo al puente tipo cercha continua.

Por lo que, en este puente sólo se puede aplicar el método de miembro adicional. Sin

embargo al añadir el miembro para reforzar el miembro sobre esforzado, los miembros adicionales incrementan sus esfuerzos y finalmente la longitud total del puente se necesita reforzar con miembros adicionales como se muestra en la Figura 11.3.1.

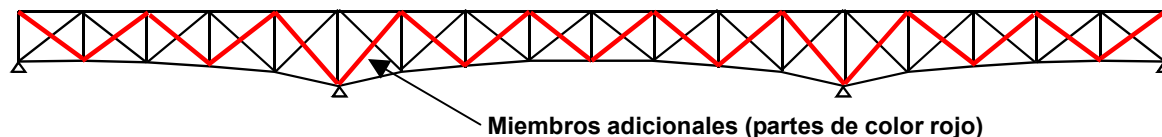


Figura 11.3.1. Miembros Adicionales para reforzar el Puente sobre el Río Aranjuez

(2) Puente No.3 sobre el Río Abangares

El esfuerzo en el miembro de la cuerda inferior del puente de cercha de 129 pies excede el esfuerzo para la carga viva H20+25%. El esfuerzo del miembro del puente de cercha de 200 pies no necesita ser reforzado. Estos miembros, que exceden el esfuerzo se pueden reforzar al fijar una placa de acero.

Por lo que, se seleccionó el método en el que se fija la placa de acero como el método más simple para este puente.

2) Puente de Viga Tipo I de acero (Puente No.12 sobre el Río Puerto Nuevo, Puente No.19 sobre el Río Sarapiquí y el Puente No.26 sobre el Río Chirripó)

De los 10 puentes seleccionados, los puentes de viga tipo I de acero son: Puente No.12 sobre el Río Puerto Nuevo en la Ruta 2, Puente No.19 sobre el Río Sarapiquí en la Ruta 4 y el Puente No.26 sobre el Río Chirripó en la Ruta 32.

La carga muerta para el Puente sobre el Río Chirripó es HS20 para todos los demás puentes es de HS15 los dos puentes que se diseñaron para HS15 no tienen suficiente capacidad para la carga viva incrementada. Por otra parte, el Puente sobre el Río Chirripó tiene suficiente capacidad de carga para la carga viva

(1) Puente No.12 sobre el Río Puerto Nuevo

El Puente sobre el Río Nuevo consiste de 3 tramos simples de viga tipo I, 1 tramo simple por una viga tipo I de acero compuesta y un tramo simple de viga de concreto reforzado. El área de la viga que se necesita reforzar es una gran área y también se necesita reforzar el ala superior de la viga no compuesta. Sin embargo, el ala superior está fija dentro del concreto de la losa. Por lo que no puede ser reforzada con el método de fijación de la cubre placa, entonces se selecciona el método del cable externo para reforzar la viga principal.

(2) Puente No.19 sobre el Río Sarapiquí

El Puente sobre el Río Sarapiquí es un puente Gerber de 3 tramos. Al igual que puente sobre el Río Puerto Nuevo, el ala superior no se puede reforzar con el método de fijación de cubre

placa, por lo que para este puente también se selecciona el método del cable externo para reforzar.

(3) Puente No.26 sobre el Río Chirripó

El Puente sobre el Río Chirripó no se necesita reforzar, por lo que no se utiliza ningún método de Refuerzo.

3) Puente de la Losa de concreto reforzado

Los puentes No.7 sobre el Río Azufrado el cuarto tramo (entre la pila P3 y el bastión A2), el Puente No. 12 sobre el Río Puerto Nuevo, y el Puente No.16 sobre el Río Nuevo son puentes de losa de concreto reforzado y tienen más de 35 años de finalizados y diseñados para una carga viva de HS15. El esfuerzo del acero de refuerzo en la viga principal excede el esfuerzo permitido para la carga viva incrementada HS20 + 25%.

(1) Puente No.7 sobre el Río Azufrado

Este tipo de Puente es de 3 tramos de marco rígido de concreto reforzado. La capacidad de la viga principal no satisface la fuerza que se da por el incremento de la carga viva en el momento positivo del tramo central y el momento negativo en el apoyo. La losa del puente de este puente también se necesita reforzar para el incremento de carga viva. El método de refuerzo considerado para la losa y para la viga principal juntamente.

El método de Incrementar el espesor de la losa en la parte superior y el método de adherencia de FRP se aplican para la losa de este puente como se muestra en la Tabla 11.3.6. El método de Incrementar el espesor de la losa ha sido seleccionado por su efectividad como parte de la viga principal y por el costo.

Tabla 11.3.6. Comparación del Refuerzo para la losa del Puente No. 7 sobre el río Azufrado

Método de Refuerzo	Incremento del espesor de la losa		Adherencia		Nueva Viga adicional
	Lado inferior	Lado Superior	FRP	Placa de acero	
Para momento negativo	No	OK	OK	No	OK
Usado como sección de viga	OK	OK Efectivo	No	No	No No aplica como marco rígido
Incremento de carga muerta	Si Largo	Si Largo	No	Si pequeño	Si Mediano
Suspensión de tráfico	No	Si	Si	No	No
Costo	Bajo	Bajo	Alto	Alto	Mediano
Evaluación	NO	Bueno	Justo	No	No

El método de Refuerzo aplicable para la viga principal de concreto reforzado fue considerado tomando en cuenta el incremento en la losa, que es efectivo como un ala de la viga, para el momento negativo y para el momento positivo como se muestra en la Tabla 11.3.7.

**Tabla 11.3.7. Comparación Preliminar para Reforzar la Viga Principal
 Del Puente No.7 sobre el Río Azufrado**

Método de Refuerzo	Para el Momento Positivo	Para el Momento Negativo	Comentarios
Incrementar sección en el lado inferior	OK	OK	Incrementa la carga muerta
Adherencia FRP	OK	No	No se puede usar en un área rígida con la pila
Adherencia de la placa de acero	OK	No	No se puede usar en un área rígida con la pila
Añadir cable externo	Aplicable	Aplicable	Costoso

Para el área del momento positivo, se pueden aplicar cuatro tipos de métodos de Refuerzo, los cuales se mencionan en la siguiente tabla. Sin embargo, el método de incremento de la sección aumenta la carga muerta, el momento positivo y el momento negativo. Además el método de añadir un cable externo es costoso. En la Tabla 11.3.8. se muestra la comparación del método de adherencia FRP y el método de adherencia de la placa de acero.

**Tabla 11.3.8. Comparación del Refuerzo para la Viga Principal
 Del Puente No.7 sobre el Río Azufrado**

Método de Refuerzo	Sección	Tamaño del Material de Adherencia	Esfuerzo para HS20 +25% (N/mm ²)			
			Concreto (7.4)	Acero de refuerzo (138)	Lámina FRP (633)	Placa de Acero (141)
Sección Original		-	5.7	227	-	-
Incremento del espesor de la losa (9 cm)		-	3.6	204	-	-
Incremento del espesor de la losa (9 cm) + Adherencia FRP		18 Capas x 484 mm	3.0	136	277	-

Incremento del espesor de la losa (9cm) + Adherencia de placa de acero		3''/8 (9.53mm) x 400 mm	3.0	134	-	90
--	--	-------------------------	-----	-----	---	----

Para el método de adherencia FRP se necesitan 18 capas de laminas FRP. Sin embargo, normalmente el número máximo es de 10 capas y hasta el momento no se cuenta con experiencias previas utilizando 18 capas. Pueden existir problemas en la adherencia de las capas en el futuro. Por lo tanto, el método seleccionado para este puente es el método de adherencia de placas de acero.

Para el momento negativo en el apoyo, uno de los métodos de Refuerzo es el incremento de la altura de la viga en la parte inferior. Se necesita una altura de 30 cm para satisfacer el esfuerzo permitido en el apoyo.

(2) Puente No.12 sobre el Río Puerto Nuevo (puente de concreto reforzado)

El Puente sobre el Río Puerto Nuevo está compuesto por 3 tramos simples de viga tipo I de acero y una viga simple de concreto reforzado. La capacidad del momento de flexión de la viga principal es menor que la fuerza del incremento de la carga viva. Se necesita reforzar la losa de este puente para el incremento de la carga viva. Se selecciono el Método de adherencia de FRP para la sección de la viga de acero.

El método del incremento del alto de la viga no es fácil a la hora de la construcción. Especialmente, cuando el lado inferior es el lado de tensión, se deberán de colocar una gran cantidad de acero de refuerzo con poca distancia por lo que es más difícil colar el concreto. El método de añadir el cable externo no es fácil de construir y es más costoso. Por la tanto, en la Tabla 11.3.9 se comparan el método de adherencia y el método de adherencia de la placa de acero.

**Tabla 11.3.9. Comparación del Refuerzo para la Viga principal
 Del puente No.12 sobre el Río Puerto Nuevo**

Método de Refuerzo	Tamaño del Material de Adherencia	Esfuerzo para HS20 +25% (N/mm ²)				Evaluación
		Concreto (7.4)	Acero de refuerzo (138)	Lámina FRP (633)	Placa de acero (141)	
Sección Original	-	4.3	155	-	-	-
Adherencia FRP	16 Capas x 484 mm	4.5	138	240	-	NO (Más de 10 capas)
Adherencia de Placa de Acero	3''/8 (9.53mm) x 400 mm	4.4	136	-	75	OK

No se pueden aplicar las 16 capas de lámina de FRP. Por lo tanto para este puente se seleccionó el método de adherencia de la placa de acero.

(3) Puente No.16 sobre el Río Nuevo

Este Puente consiste de 3 tramos continuos de concreto reforzado similar al Puente No. 7 sobre el Río Azufrado. La capacidad de la viga principal no satisface la fuerza dada por la carga viva incrementada del momento positivo en el tramo central y el momento negativo del apoyo. Se necesita reforzar la losa por el incremento de la carga viva. El método de Refuerzo fue considerado para la losa y la viga principal juntamente.

Se aplica el método del incremento de la losa por las mismas razones que las del puente sobre el Río Azufrado. Al incrementar la losa, el esfuerzo en el medio del tramo central y el esfuerzo en el apoyo, se satisface el esfuerzo permitido. Pero el esfuerzo cerca del medio del tramo central no satisface el esfuerzo permitido. En la Tabla 11.3.10 muestra la comparación del método de Refuerzo para esta sección. Se necesitan 6 capas de lámina FRP, ya que para reforzar la viga de concreto reforzado se seleccionó el método de adherencia de FRP.

**Tabla 11.3.10. Comparación del Refuerzo para la Viga Principal
 Del Puente No.16 sobre el Río Nuevo**

Método de Refuerzo	Tamaño del Material de Adherencia	Esfuerzo para HS20 +25% (N/mm ²)				Evaluación
		Concreto (7.4)	Acero de refuerzo (138)	Lámina FRP (633)	Placa de acero (141)	
Sección Original	-	5.0	156	-	-	-
Adherencia FRP	6 Capas x 484 mm	3.2	136	283	-	Good
Adherencia de Placa de Acero	3 ³ / ₈ (9.53mm) x 400 mm	3.1	129	-	85	Fair

4) Puente de Viga tipo I prefabricado (Puente No.29 sobre el Río Torres)

El Puente sobre el Río Torres consiste de dos tipos de longitud de tramo de Viga tipo I simple prefabricada. Este puente de tramos de 30 m está sobrecargado en el esfuerzo de la viga por el incremento de carga viva HS20 + 25%, por otra parte, la parte del tramo de 17 m no está sobrecargada por el esfuerzo. Las losas de ambos puentes tienen que ser reforzadas utilizando el método de adherencia FRP por el incremento de la carga viva.

El arreglo real de los cables PC en la viga no se muestra en los planos, tampoco se muestra en los planos la línea de la posición que se necesita del centro de gravedad para los cables. Lo que significa que es peligroso sostener la viga para reforzar, especialmente en la parte inferior de la viga cerca del centro de esta. Tomando en consideración esta situación, se considera que los métodos a ser usados para la viga tipo I prefabricada serían el método de adherencia FRP y el método de añadir un cable externo tal como se muestra en la Tabla 11.3.11.

Tabla 11.3.11. Comparación del Método de refuerzo para la Viga tipo I prefabricada

Método de Refuerzo	Efectividad	Riesgo por daño a los Cables PC	Costo	Aplicable
Sección Incrementada	No	Grande	Bajo	No
Adherencia de placa de acero	Si	Grande	Mediano	No
Adherencia FRP	Si	Pequeño	Mediano	Si
Añadir cable externo	Si	Mediano	Alto	Justo

Si se necesitan aplicar más de 10 capas de laminas FRP, se puede fácilmente aplicar el método del cable adicional.

Según los resultados del cálculo de esfuerzo, para satisfacer el esfuerzo permitido en el acero de refuerzo en el área de tensión se necesitan 4 capas de láminas FRP, como se muestra en la Tabla 11.3.12. Por lo que se seleccionó el método de adherencia de FRP.

Tabla 11.3.12. Resultado del Esfuerzo para el Método de Adherencia FRP para la Viga Principal del Puente No. 29 sobre el Río Torres

Método de Refuerzo	Tamaño del material de adherencia	Esfuerzo para HS20 +25% (N/mm ²)				Evaluación
		Concreto		Acero de Refuerzo (138)	Lámina FRP (633)	
		Compresión (7.4)	Tensión (-2.9)			
Sección original	-	5.0	-3.7	-	-	-
Adherencia FRP	4 Capas x 484 mm	3.2	-	118	379	OK

5) Puente de Viga Cajón prefabricada (Puente No.17 sobre el Río Chirripó y el Puente No.20 sobre el Río Sucio)

(1) Esfuerzo de las Vigas Cajón Prefabricadas

Como resultado del análisis estructural, el Puente No. 17 sobre el Río Chirripó y el Puente No.20 sobre el Río Sucio tienen una capacidad de carga para una carga viva incrementada de HS20 + 25% como se muestra en la Tabla 11.3.13. No se necesita reforzar estos puentes.

Tabla 11.3.13. Esfuerzo par alas vigas de cajón prefabricadas del Puente No.17 sobre el Río Chirripó y el Puente No.20 sobre el río Sucio

	Esfuerzo del concreto para HS20 +25% (N/mm ²)							
	En el centro del tramo				En el apoyo			
	Superior		Inferior		Superior		Inferior	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min
Puente No.17 sobre el Río Chirripó	3.6	-0.3	9.0	3.0	11.8	10.0	8.0	5.9
Puente No.20 sobre el Río Sucio	4.1	-0.5	9.3	2.4	12.1	9.8	7.0	5.7
Esfuerzo Permitido	Compresión		13.7					
	Tensión		- 2.9					

En el Puente sobre el Río Chirripó y el puente sobre el Río Sucio se observan deformaciones anormales. Las deformaciones máximas son de alrededor de 20 cm y 27 cm en el tramo medio comparado con la altura del apoyo medio en el Puente sobre el Río Chirripó y el Puente sobre el Río Sucio respectivamente.

La Figura 11.3.2 muestra la comparación entre la elevación actual de la losa del puente y su elevación planeada en el plano original existente para el Puente No. 20 sobre el Río Chirripó. La diferencia entre el nivel real y el nivel planeado en el centro del tramo medio es de 30 cm e incluso la altura presente de las pilas de P1 y P2, donde la altura normalmente nunca cambia no es la misma que su altura planeada. Se considera que el puente no se construyó como la elevación planeada en el plano existente. Sin embargo, esta es una suposición ya que no existen planos o registros de la su construcción.

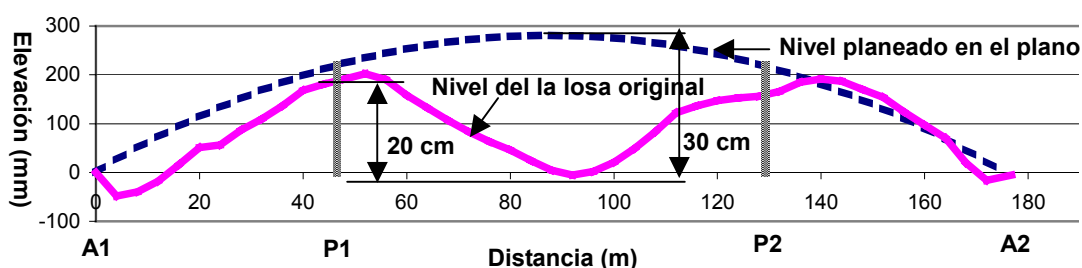


Figura 11.3.2. Deflexión en el Puente No.17 sobre el Río Chirripó

La Figura 11.3.3 muestra la comparación entre la elevación actual de la losa y su elevación planeada en el plano original existente del puente No.20 sobre el Río Sucio. La figura se realizó asumiendo que la losa es un nivel, ya que la alineación vertical planeada del puente se ubica en la sección inclinada. La diferencia de la altura entre la Pila 1 y el centro del tramo medio es de 27 cm e incluso la altura presente en la pila P1 no es la misma que la altura planeada.

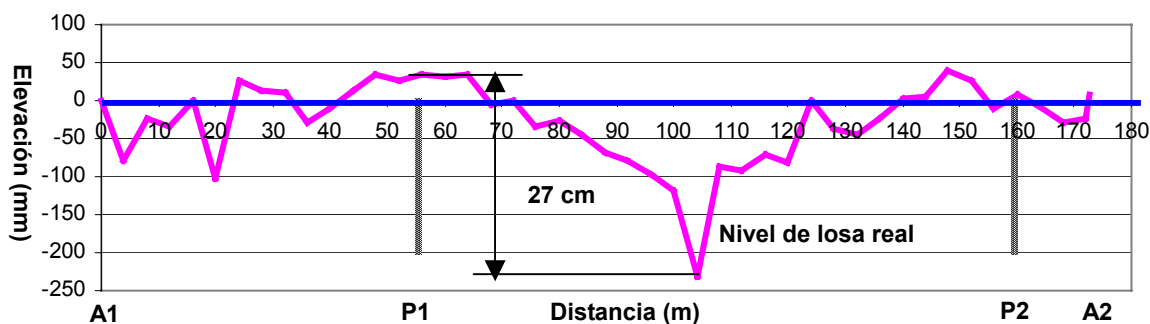


Figura 11.3.3. Deflexión en el Puente No.20 sobre el Río Sucio

i) Causas de la Deflexión

La viga de concreto preesforzada se deformó por varias fuerzas durante el periodo de construcción y después de su finalización, como se muestra en la Tabla 11.3.4. Normalmente,

estas deformaciones se consideran para colocar la curvatura durante los trabajos de construcción. Sólo después de la finalización de la obra se dan las deflexiones causadas por la pérdida del esfuerzo de los cables PC. La pérdida normal del esfuerzo de los cables PC debido al deslizamiento y la reducción elástica del concreto y a la relajación del cable PC es de alrededor de 13% del esfuerzo instalado como se describe en AASHTO. La deflexión debido a la pérdida de este preesfuerzo es de sólo 20 mm para el Puente sobre el Río Chirripó y sobre el Río Sucio. La Tabla 11.3.14. muestra las deflexiones debido a cada fuerza calculada por análisis estructural para dos puentes.

Tabla 11.3.14. Deflexiones en el centro debido a varias fuerzas

Fuerzas		Deflexión (mm)	
		Puente No.17 Río Chirripó	Puente No.20 Río Sucio
Carga muerta de la viga principal		-166	-248
Preesfuerzo del cable del voladizo		+ 99	+119
Preesfuerzo del cable continuo		+61	+68
Carga muerta super impuesta		-29	-27
Pérdida del esfuerzo debido al deslizamiento y otros	Durante la Construcción del Voladizo	-12	-22
	Después de la conexión del centro	- 8	-8
Total	Con pérdida durante la construcción	-43	-118
	Sin pérdida durante la construcción	-55	-96

La comparación entre la deflexión real y la deflexión debido a la pérdida de esfuerzo se muestran en la Figura 11.3.4 y 11.3.5. para el puente sobre el Río Chirripó y el puente sobre el Río Sucio, respectivamente. La deflexión debido a la pérdida del esfuerzo es muy pequeña comparada con la deflexión real. Por lo tanto, se considera que está es una deflexión anormal no es sólo causada por la pérdida del esfuerzo de los cables PC.

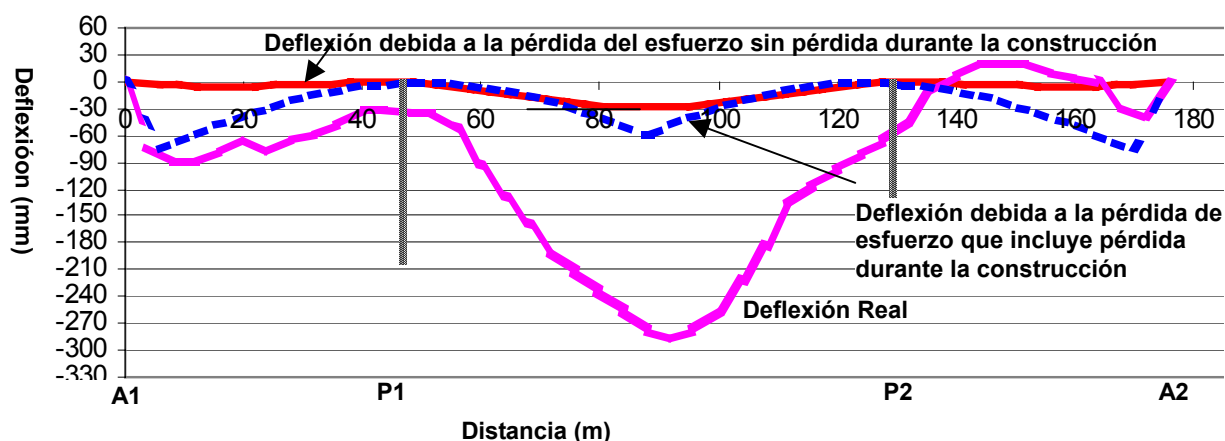


Figura 11.3.4. Comparación de la Deflexión para el Puente No.20 sobre el Río Sucio

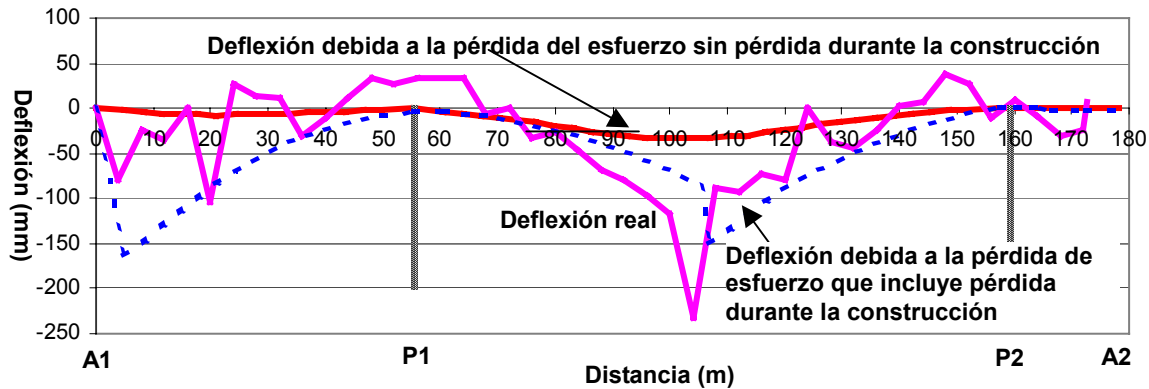


Figura 11.3.5. Comparación de la Deflexión para el puente No.20 sobre el Río Sucio

Las otras causas de la deflexión para la estructura preesforzado y se predice como a continuación;

- Falta de la resistencia de la viga cajón de concreto
- Disminución del modulo elástico de la viga de cajón de concreto
- Falta de la tensión introducida del cable PC
- Progreso anormal del deslizamiento del concreto
- Defecto del control de calidad durante la construcción
- Incremento del peso muerto debido al pavimento asfáltico.

ii) Investigación de la Condición del puentes

La investigación de las condiciones del Puente son;

- De acuerdo a la inspección detallada de los dos puentes anteriormente mencionados conducidos en el estudio;
 - No hay grietas anormales
 - No hay carbonatación anormal
 - No hay vibraciones anormales causadas por vehículos
- De acuerdo a la prueba de excavación del núcleo del Puente No. 20 sobre el río Sucio y la prueba del martillo Schmidt de los puentes se concluyen los siguientes resultados;
 - La resistencia del concreto de los cuerpos del Puente satisfacen el nivel requerido
 - El módulo elástico de las muestras de los núcleos excavados satisfacen el nivel requerido.
- De acuerdo al análisis estructural y a la prueba de carga del Puente No. 17 sobre el río Chirripó, se concluye que;
 - La rigidez requerida del Puente existente se confirmó con los planos, entendido con respecto a la coincidencia de los resultados del análisis estructural y la prueba de carga.

iii) Contra Medidas

El análisis anterior indica que ambos puentes satisfacen los requerimientos estructurales necesarios excepto por la deflexión observada en el tramo central y será capaz de servir al tráfico público con seguridad.

Se considera que las deflexiones observadas son causa del control de calidad durante la construcción. Si embargo, esta es una suposición ya que no existen planos originales de la construcción ni registros disponibles. Observe que la capacidad de carga de los puentes para HS20+25% fue verificada en el análisis estructural usando un modelo con base en los planos de diseño original.

Debido a lo anteriormente mencionado, se considera que el pente puede servir de manera segura en el futuro. Sin embargo se recomienda que las deflexiones de estos puentes sean medidas al menos una vez al año.

11.3.3 Metodología de Diseño para Reforzar la Viga Principal

1) Puente de cercha (Puente No.2 sobre el Río Aranjuez y Puente No.3 sobre el Río Abangares)

(1) Programa de Diseño para el Puente de cercha

a) Miembro Diagonal Adicional

En la Figura 11.3.2 se muestra el programa de diseño para el Puente de cercha de acero, reforzado con el método de añadir un miembro diagonal. La metodología del diseño de Refuerzo es reducir el esfuerzo del miembro original e incrementar la capacidad de carga.

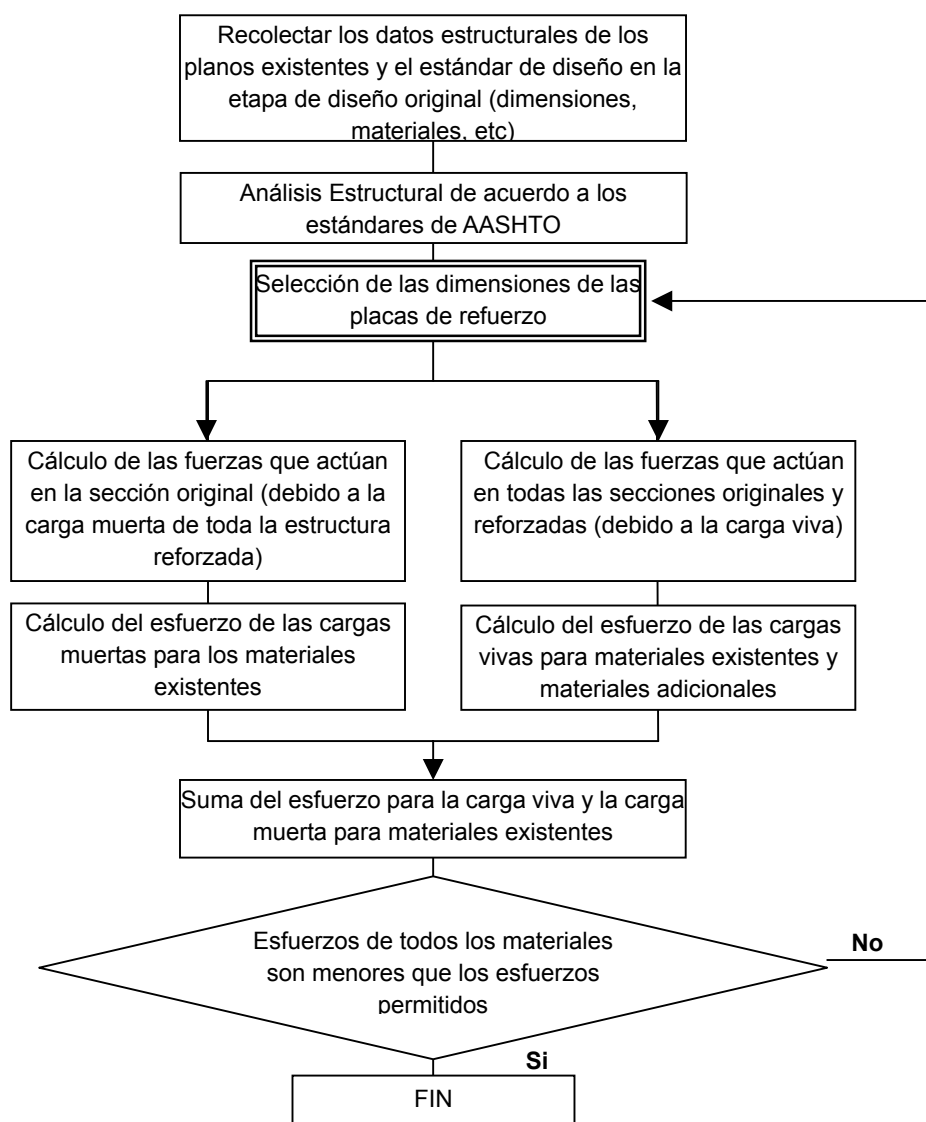


Figura 11.3.6. Programa de Diseño para el Puente de cercha de acero reforzado con miembros diagonales adicionales

b) Aumento de Dimensiones

En la Figura 11.3.3 se muestra el Programa de diseño para el puente de cercha de acero, el cual se refuerza con el método de incremento de la dimensión. La metodología básica del diseño de Refuerzo es que el acero existente en el lado del área de tensión de la viga y la sección incrementada resista el esfuerzo de tensión.

El esfuerzo de la sección de la viga original, que está compuesta de los esfuerzos de la carga viva y la carga muerta sea menor que el esfuerzo permitido.

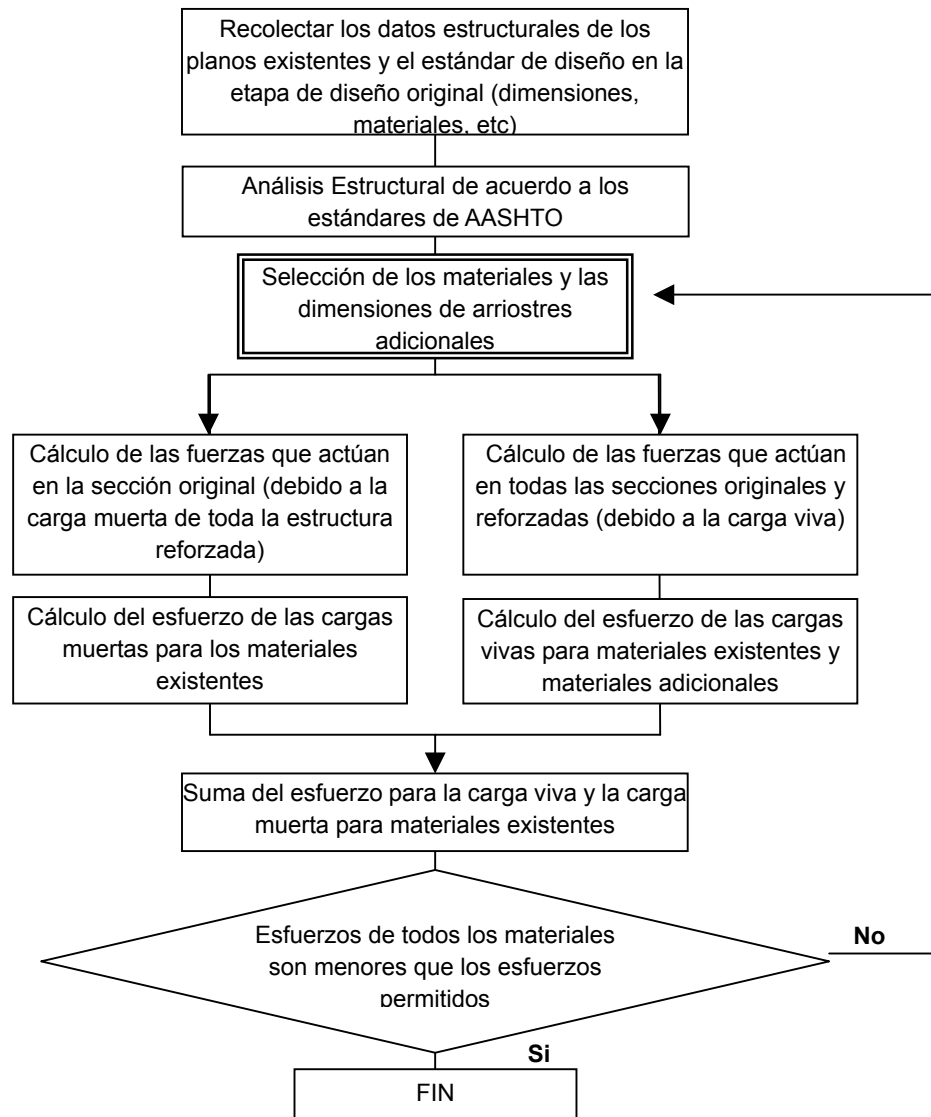


Figura 11.3.7. Programa de Diseño para el Puente de cercha de acero reforzado al incrementar la dimensión

(2) **Método de Verificación para el miembro diagonal adicional o para el incremento de la dimensión**

a) **Miembro diagonal adicional**

El procedimiento de verificación aplicado es equivalente al procedimiento al añadir placas de Refuerzo de acero a los miembros existentes. Los miembros existentes resisten a las cargas muertas y a las cargas vivas y a las cargas vivas adicionales, como se muestra a continuación:

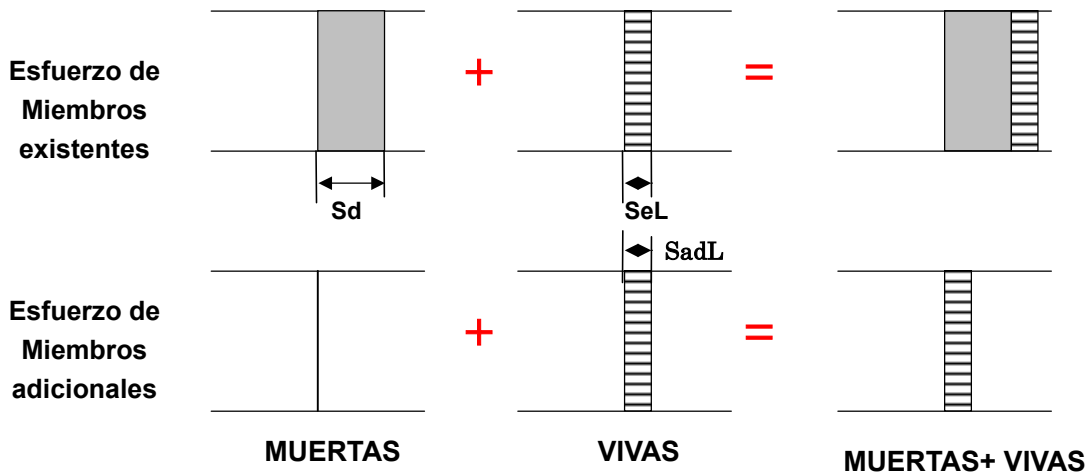


Figura 11.3.8. Esfuerzo por las cargas vivas y las cargas muertas

Esfuerzo de miembros existentes por la carga muerta + la carga viva

$$Se = Sd + SeL < Se-a$$

Esfuerzo de miembros adicionales por la carga viva

$$Sad = SadL < Sad-a$$

Donde, Sd : Esfuerzo por la carga axial de las cargas muertas
 SeL, SadL : Esfuerzo por la carga axial de las cargas vivas
 Se-a : Esfuerzo permitido de los miembros existentes
 Sad-a : Esfuerzo permitido del arriostamiento adicional

b) Incremento de la Dimensión

En el método de añadir placas de refuerzo a los miembros existentes, se debe de considerar de manera separada la acción de las cargas muertas y las cargas vivas. Las cargas muertas de toda la estructura que incluyen los materiales existentes y los nuevos materiales añadidos actúan solamente en las secciones originales mientras que las cargas vivas actúan en la sección reforzada con un esfuerzo disminuido. La verificación del esfuerzo para la sección original se realiza como se muestra a continuación:

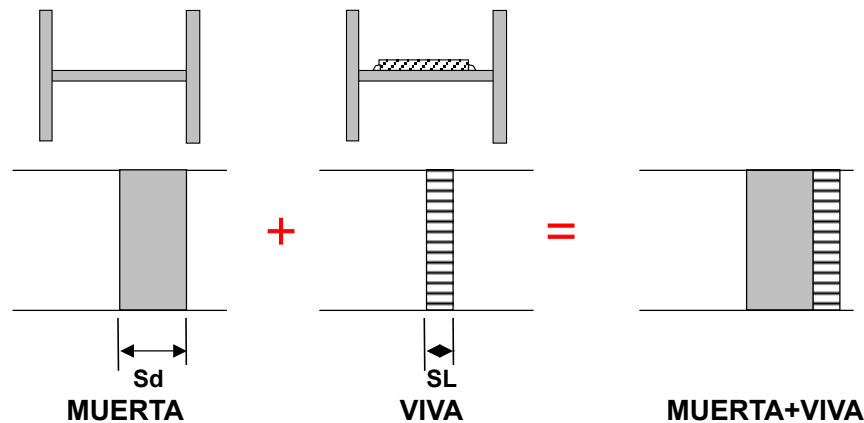


Figura 11.3.9. Esfuerzo por la carga muerta y la carga viva

Esfuerzo de materiales existentes por la carga muerta + la carga viva

$$S = S_d + SL < S_a$$

Donde, S_d : Esfuerzo por la fuerza axial de la carga muerta

SL : Esfuerzo por la fuerza axial de la carga viva

S_a : Esfuerzo permitido del material existente

2) Puente de Viga tipo I de acero (Puente No.12 sobre el Río Puerto Nuevo, Puente No.19 sobre el Río Sarapiquí y el puente No.26 sobre el Río Chirripó)

(1) Programa de Diseño para el Puente de Viga tipo I de acero

En la Figura 11.3.6. se muestra el programa de diseño para el Puente de viga tipo I de acero, el cual se refuerza con el método del cable externo adicional. El preesfuerzo del cable externo actúa como carga muerta en la sección de la viga. El esfuerzo del acero de la sección de la viga original debe ser menor que el esfuerzo permitido para la carga muerta, la carga viva y el preesfuerzo que incluye el cable adicional.

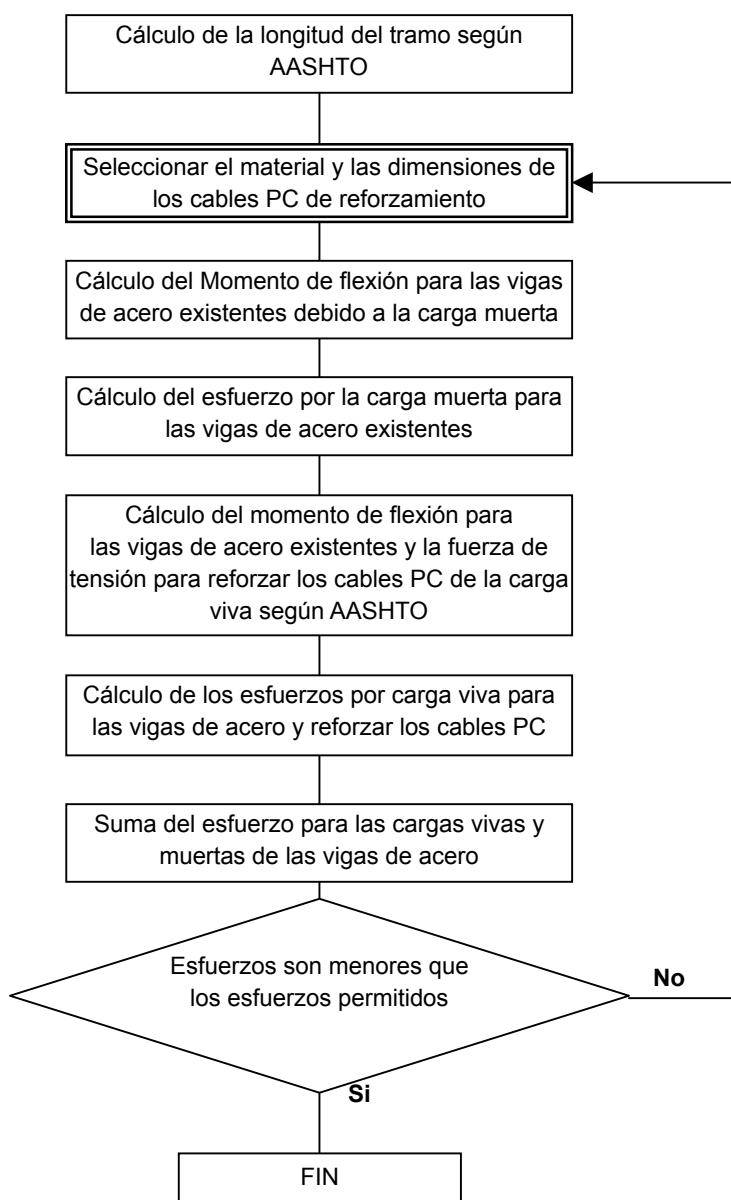


Figura 11.3.10. Programa de Diseño para El Puente de Viga Tipo I de acero reforzado con cable externo adicional

(2) Método de Verificación de Esfuerzo para reforzar con cable PC

El Refuerzo externo con cables PC permite que las vigas de acero existentes sean resistentes consistentemente a las cargas vivas y las cargas muertas. Además de la fuerza axial, el momento de flexión excéntrico por el preesfuerzo se da en la sección de la viga. Consecuentemente, el método de verificación del esfuerzo es el siguiente:

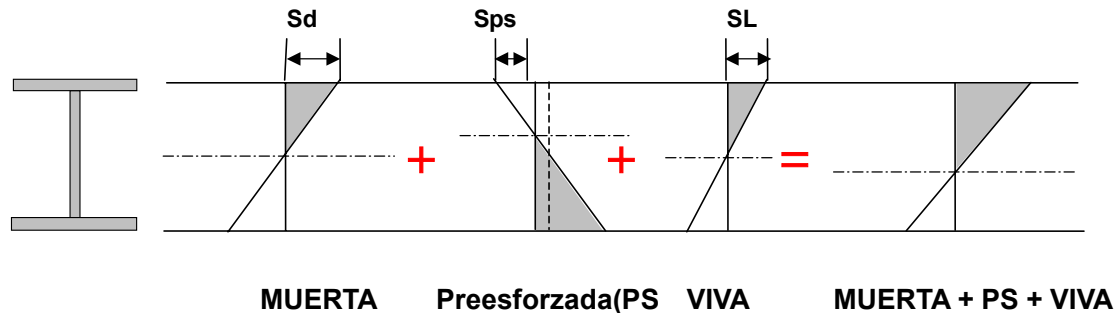


Figura 11.3.11. Esfuerzo debido a la carga muerta, la carga viva y el preesfuerzo

Esfuerzo de la viga tipo I de acero debido a la carga muerta+ la carga viva

$$S = Sd + Sps + SL < Sa$$

Donde, Sd : Esfuerzo de flexión por las cargas muertas
 Sps : Esfuerzo por el preesfuerzo axial y su momento excéntrico
 SL : Esfuerzo de flexión por las cargas vivas
 Sa : Esfuerzo permitido de la viga de acero

3) Puente de losa de concreto reforzado (Puente No.7 sobre el Río Azufrado, puente No.12 sobre el Río Puerto Nuevo, y el Puente No.16 sobre el Río Nuevo)

Para el Puente No.7 sobre el Río Azufrado, puente No.12 sobre el Río Puerto Nuevo, y el Puente No.16 sobre el Río Nuevo, se seleccionó diferentes métodos de Refuerzo, sin embargo, las metodologías del diseño para reforzar los puentes de losa de concreto reforzado son casi las mismas. Para el diseño del Refuerzo de los puentes de concreto reforzado, el punto básico es verificar el esfuerzo del Refuerzo existente y el concreto de la sección de la viga original.

(1) Programa de Diseño para la losa de concreto reforzado

En la Figura 11.3.8. se muestra el programa de diseño para reforzar el Puesto de losa de concreto reforzado con adherencia FRP o Adherencia de acero.

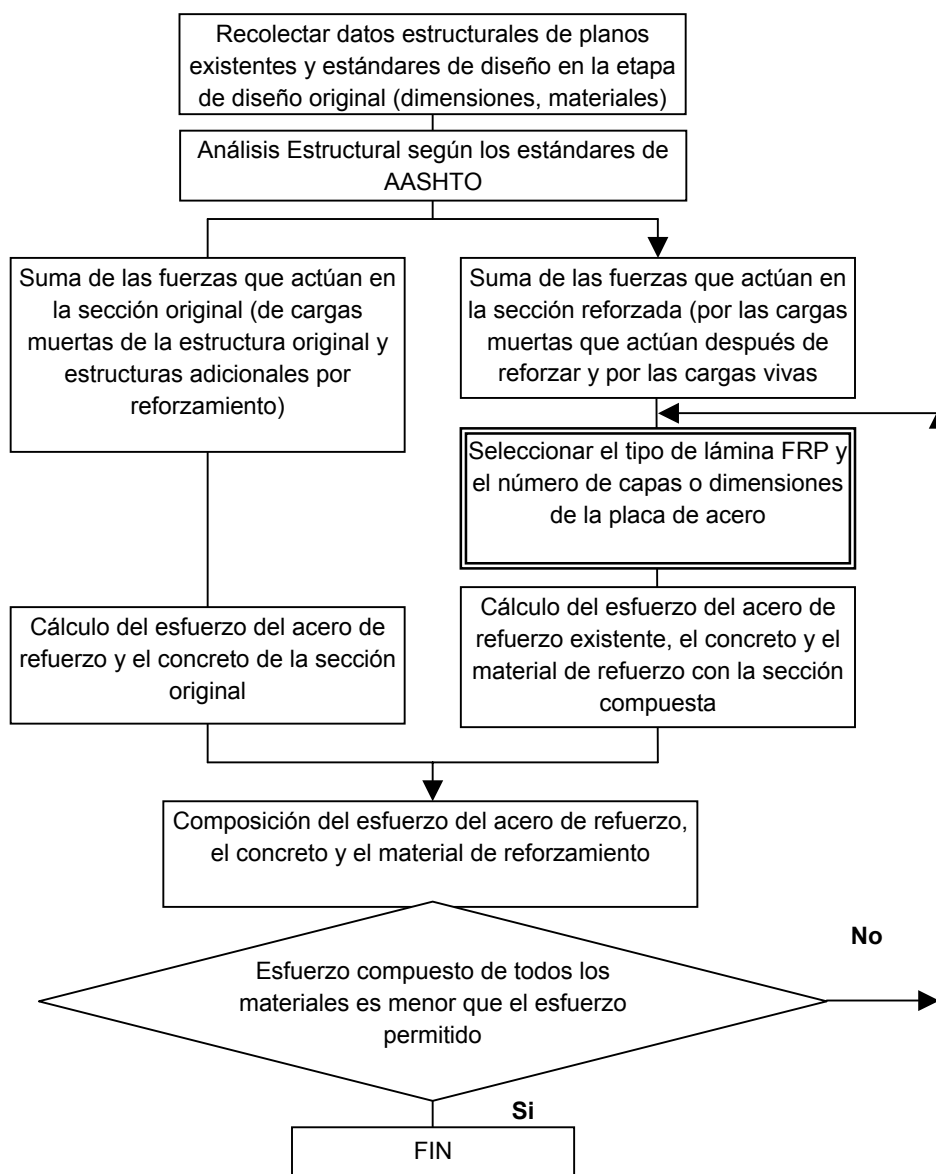


Figura 11.3.12. Programa de Diseño para la viga de concreto reforzado con un Refuerzo de adherencia FRP y adherencia de placa de acero

Cuando la viga principal se refuerza se incrementa la sección, se requiere de un análisis estructural para la sección original y la sección incrementada como se muestra en la Figura 11.3.9. se muestra el programa de diseño

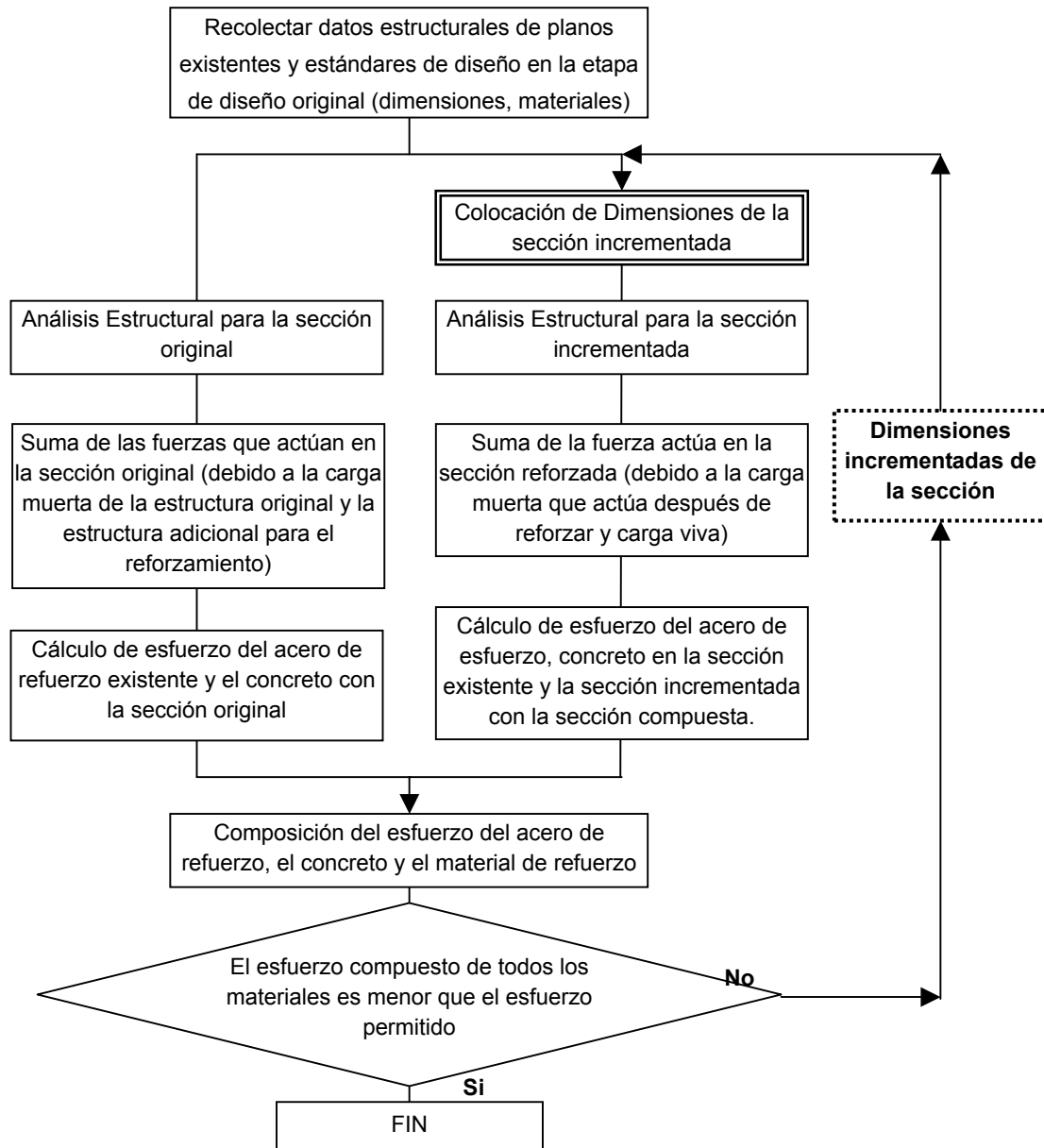


Figura 11.3.13. Programa de diseño para la viga de concreto reforzado al incrementar la sección

Cuando se refuerza la losa al incrementar la sección y si la viga principal necesita ser reforzada con adherencia FRP o adherencia de la placa de acero tal como es el caso del Puente No. 7 sobre el Río Azufrado y el Puente No. 16 sobre el Río Nuevo, se necesita hacer un análisis de la sección original y la sección incrementada de la losa como se muestra en la Figura 11.3.10.

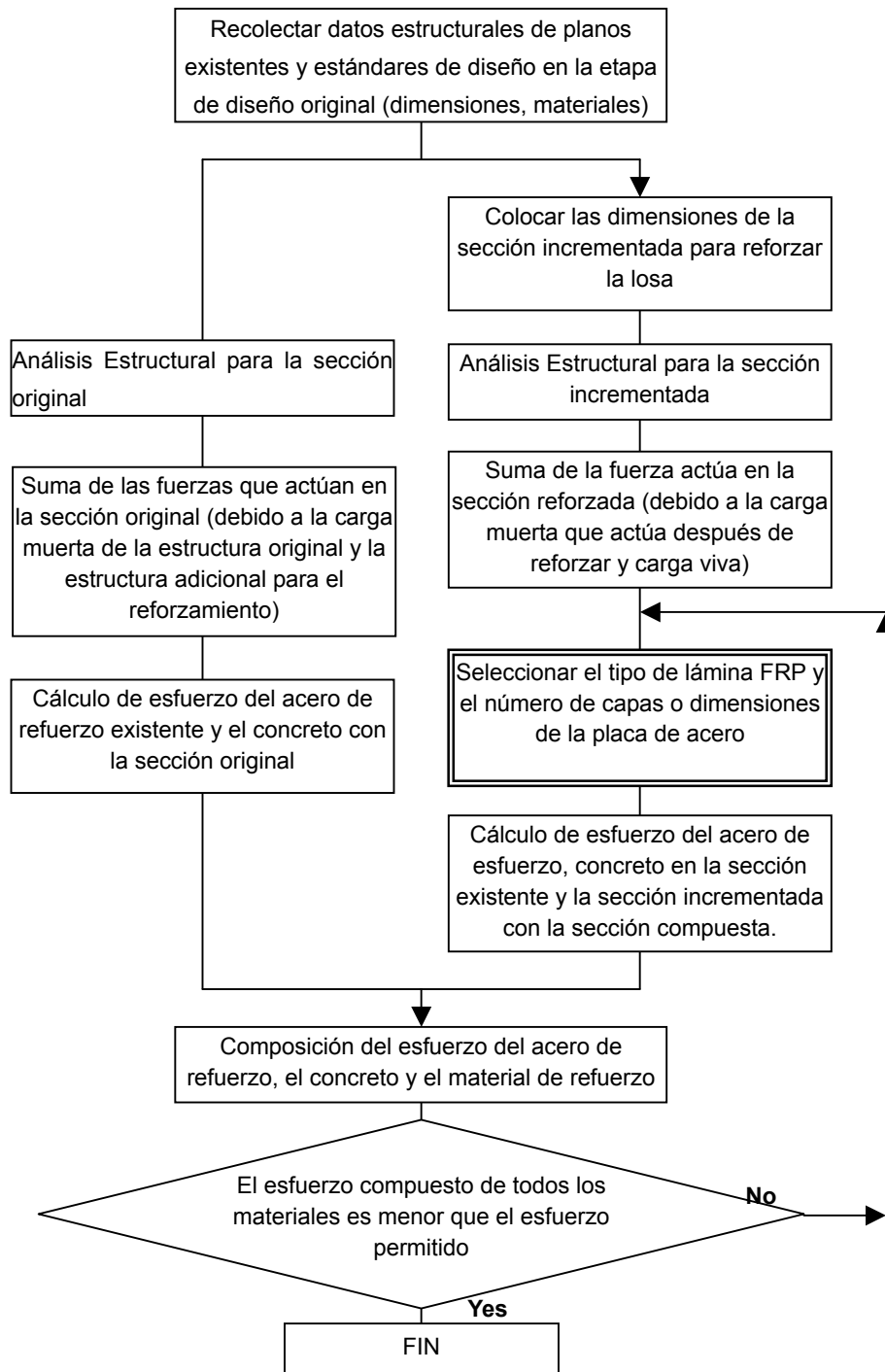


Figura 11.3.14. Programa de Diseño para la viga de concreto reforzado que necesita incrementar la losa con adherencia FRP o con placa de acero

(2) Método de verificación de esfuerzo para la adherencia FRP o adherencia de placas de acero

El método de verificación de esfuerzo de la viga principal reforzada con FRP o placa de acero se describe a continuación. Después de unir los esfuerzos del acero de refuerzo, el concreto, la lámina FRP o la placa de acero deberán ser menores que el esfuerzo permitido respectivamente.

1. El Cálculo del esfuerzo del acero de refuerzo y el concreto existentes en la sección original para el momento de flexión M_d debido a la carga muerta incluyendo la carga muerta adicional del Refuerzo.

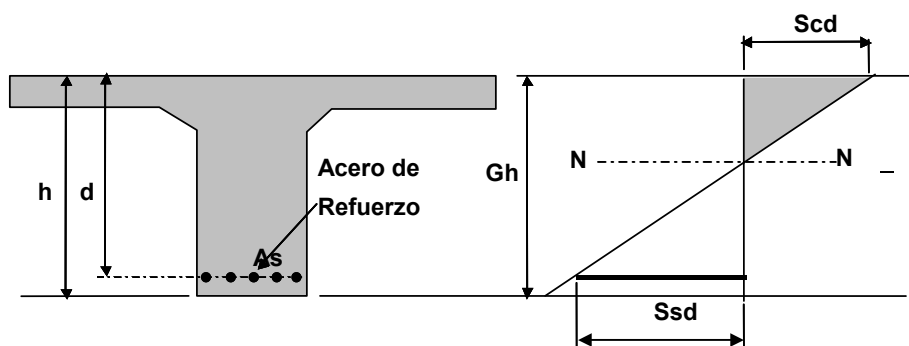


Figura 11.3.15. Esfuerzo debido a la carga muerta

- S_{cd}:** Esfuerzo del concreto debido a la carga muerta
S_{sd}: Esfuerzo del acero de refuerzo debido a la carga muerta

2. Cálculo del esfuerzo del acero de refuerzo, concreto, lámina FRP o placa de acero en la sección reforzada para el momento de flexión M_L debido a la carga viva incluyendo la carga muerta que actúa después del Refuerzo.

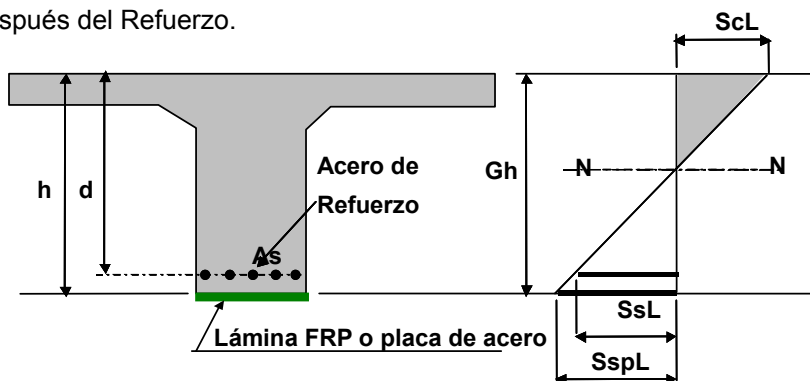


Figura 11.3.16. Esfuerzo debido a la carga viva

- S_{cL}:** Esfuerzo del concreto debido a la carga viva
S_{sL}: Esfuerzo del acero de refuerzo debido a la carga viva
S_{spL}: Esfuerzo del FRP o placa de acero debido a la carga viva

3. Esfuerzo del acero de refuerzo, concreto y FRP o placa de acero debido a la carga muerta y la carga viva.

Todos los esfuerzos del concreto, del acero de refuerzo y de la lámina FRP deben de ser menores que el esfuerzo permitido respectivamente.

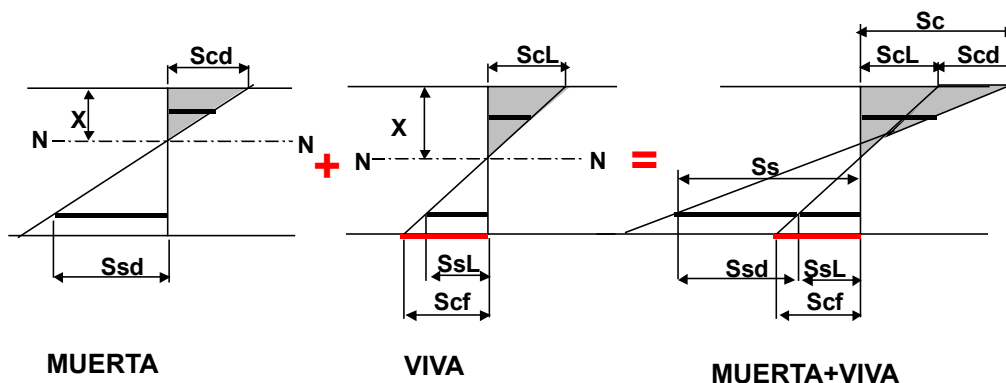


Figura 11.3.17. Esfuerzo Compuesto debido a la carga muerta y a la carga viva

$$\begin{aligned} S_c &= S_{cd} + S_{cL} < S_{ca} \\ S_s &= S_{sd} + S_{sL} < S_{sa} \\ S_{cf} &= S_{cfL} < S_{cfa} \end{aligned}$$

Donde, S_{ca} : Esfuerzo permitido del concreto
 S_{sa} : Esfuerzo permitido del acero de refuerzo
 S_{cfa} : Esfuerzo permitido de la lámina FRP

(3) Área de Refuerzo

El área donde la capacidad registrada de la sección original es menor que la fuerza actuante se ha reenfocado.

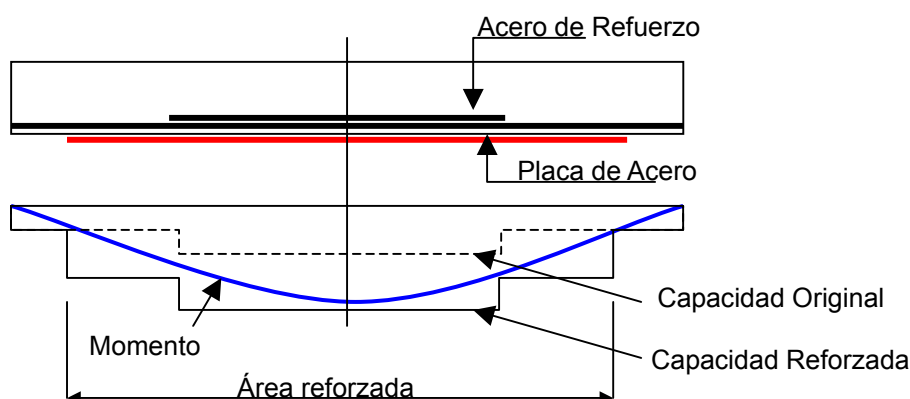


Figura 11.3.18. Área Reforzada de la viga

4) Puente de Viga tipo I prefabricada (puente No.29 sobre el Río Torres)

Para el Puente No. 29 sobre el Río Torres de viga tipo I prefabricada se seleccionó el método de Refuerzo con adherencia FRP. El punto básico para el diseño del Refuerzo de los puentes de viga tipo I prefabricada, es que el acero de refuerzo y la lámina FRP resistan la fuerza de tensión total en el área de esfuerzo de tensión de la sección. Se asume que el esfuerzo de tensión permitido de la lámina FRP es controlado por el esfuerzo permitido del acero de refuerzo y su promedio de módulo elástico ya que la deformación del acero de refuerzo y de la lámina FRP son los mismos en el área de esfuerzo de tensión.

(1) Programa de Diseño para el Puente de la Viga Tipo I prefabricada

En la Figura 11.3.15. se muestra el programa de diseño para reforzar el Puente de viga tipo I prefabricada con adherencia FRP.

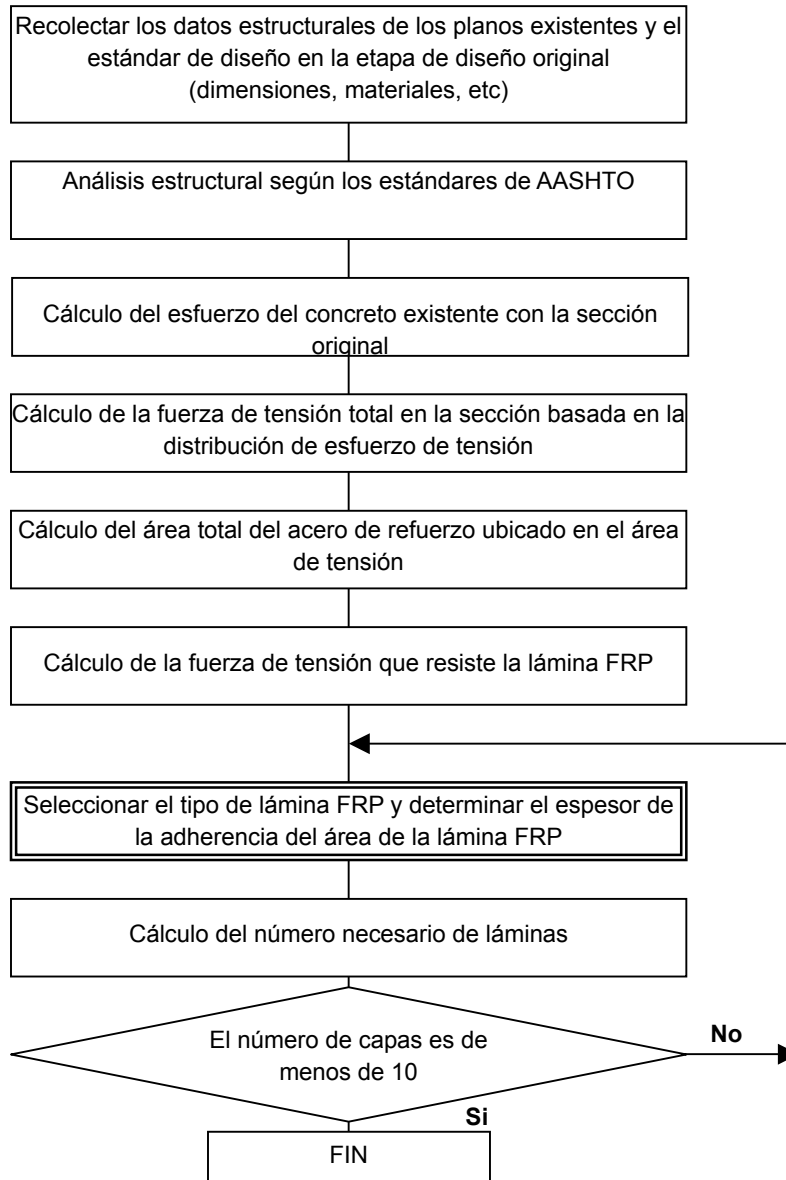


Figura 11.3.19. Programa de Diseño para reforzar la viga tipo I prefabricada con adherencia FRP

(2) Método de Diseño para la adherencia FRP para la Viga tipo I prefabricada

El método de diseño para reforzar la viga tipo I con la adherencia FRP se explica a continuación. El número necesario de capas debe ser menor de 10.

3. Esfuerzo del concreto de la sección original se deberá calcular para todas las cargas incluyendo los preesfuerzos. La Fuerza de tensión total T_c de la sección puede ser calculada con base en el área de esfuerzo de tensión de la sección.

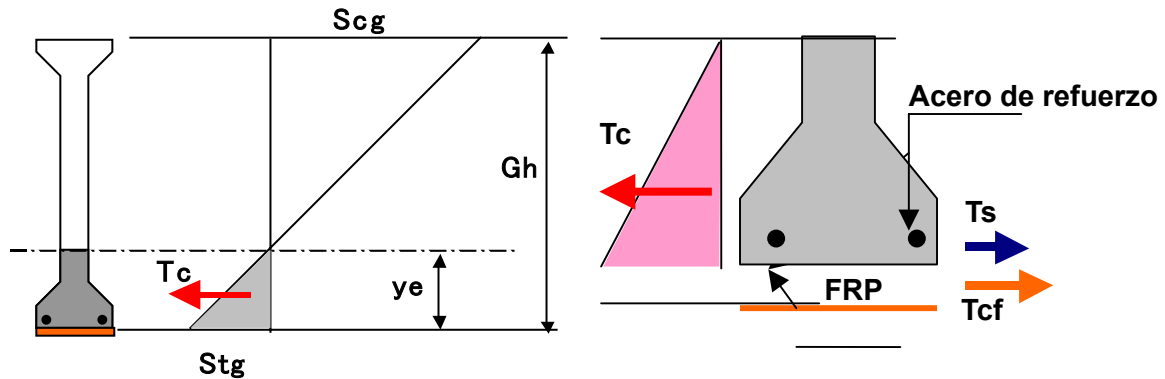


Figura 11.3.20. Imagen del esfuerzo de tensión de la viga tipo I prefabricada

2. La fuerza de tensión total T_c que actúa en la sección del concreto es resistida por el acero de refuerzo existente y la lámina de adherencia FRP.

$$T_c = T_s + T_{cf} = S_s \times A_s + S_{cf} \times A_{cf} = S_s \times A_s + S_s \left(\frac{E_{cf}}{E_s} \right) \times A_{cf}$$

Donde, T_c : Esfuerzo de Tensión Total que actúa en la sección del concreto.

T_s : Fuerza de tensión resistida por el acero de refuerzo existente en el área de tensión

T_{cf} : Fuerza de tensión resistida por la adherencia FRP

S_s : Esfuerzo del acero de refuerzo

S_{cf} : Esfuerzo del FRP

A_s : Área de la sección del acero de refuerzo

A_{cf} : Área de la sección del FRP

E_s : Módulo Elástico del acero de refuerzo

E_{cf} : Módulo Elástico del FRP (kN/mm²)

3. El esfuerzo del acero de refuerzo deberá ser menor que el esfuerzo permitido S_{sa} . Por lo tanto, a continuación se pueden calcular el área necesaria de la lámina FRP y el número necesario de capas.

$$A_{cf} = \frac{T_c / S_{sa} - A_s}{E_{cf} / E_s}$$

$$N_{cf} = A_{cf} / (t_{cf} \times W_{cf})$$

Donde, S_{sa} : Esfuerzo permitido del acero de refuerzo

N_{cf} : Número necesario de la lámina FRP

tcf: Espesor de la lamina FRP resistida por el acero de refuerzo en el área de tensión
 Wcf: Espesor de Adherencia de la lámina FRP

11.3.4 Condición Existente y condición después del Refuerzo

Para la carga viva incrementada HS20 +25%, se deberá de reforzar las vigas principales o estructuras de las de los 7 puentes, a excepción del Puente No.17 sobre el Río Chirripó, el Puente No.20 sobre el Río Sucio y el puente No26 sobre el Río Chirripó. El método de Refuerzo para cada Puente se resume por tipo en las siguientes tablas.

1) Puente de Cercha

La fuerza axial del miembro original disminuye al añadir un miembro y el Puente No. 2 sobre el Río Aranjuez deberá tener suficiente capacidad de carga.

En el Puente No.3 sobre el Río Abangares (129pies) se necesita reforzar con cubre placa de acero para un área del aproximadamente 18m en el centro del tramo. Las placas usadas para reforzar son de 180mm de ancho y 5/8 pulgadas en espesor. Por otro lado, el Puente No.3 sobre el Río Abangares (200pies) tiene un refuerzo innecesario.

Tabla 11.3.15. Comparación de las condiciones de la estructura principal para Puentes de Cercha

Puente No.	Nombre del puente	Condiciones Existentes		Condiciones después del Reforzamiento		Esfuerzo Permitido (N/mm ²)
		Esfuerzo sobre posición	Esfuerzo (N/mm ²)	Método de Refuerzo	Esfuerzo (N/mm ²)	
2	Aranjuez	Centro del tramo principal	86	Miembro Adicional	55	63
		En el apoyo	130	Miembro Adicional	94	100
3	Abangares (129pies)	Centro del tramo	144	Cubre placa de acero	124	125
	Abangares (200pies)	Centro del tramo	70	-	-	125

2) Puente de Viga tipo I de acero

El momento de flexión del miembro original disminuye con el cable externo adicional, el puente No. 12 sobre el Río Puerto Nuevo y el Puente No. 19 sobre el Río Sarapiquí deberán tener suficiente capacidad de carga.

El Puente No. 26 sobre el Río Chirripó tiene suficiente capacidad de carga en la condición original.

Tabla 11.3.16. Comparación de las condiciones de la estructura principal para puentes de viga tipo I de acero

Puente No.	Nombre del puente	Condiciones Existentes		Condiciones después del Refuerzo		Esfuerzo Permitido (N/mm ²)
		Esfuerzo sobre posición	Esfuerzo (N/mm ²)	Método de Refuerzo	Esfuerzo (N/mm ²)	
12	Puerto Nuevo (70ft)	Centro del tramo	143	Cable externo adicional	123	125
	Puerto Nuevo (80ft)	Centro del tramo	149	Cable externo adicional	119	125
19	Sarapiquí	Centro del tramo	191	Cable externo adicional	126	130
		En el apoyo	136	Cable externo adicional	126	130
26	Chirripó	Centro del tramo	130	-	-	130
		En el apoyo	104	-	-	180

3) Puente de Losa de Concreto Reforzado

Las vigas de concreto reforzado del Puente No.7 Azufrado, No.12 Puerto Nuevo y No.16 Nuevo no tienen la suficiente capacidad para soportar la carga viva incrementada

En el Puente Azufrado, los esfuerzos al centro del tramo principal y en los soportes excede el esfuerzo permitido inclusive después del incremento de la losa, lo cual puede ser tomado como parte de la sección de la viga. El centro del tramo principal fue reforzado con la adherencia de placas de acero (3/8" de espesor, 400mm de ancho) para una longitud de 7.2m y la sección en los soportes fueron reforzadas con el incremento de 30cm de la profundidad en el lado inferior.

Las vigas simples del Puente No.12 Nuevo no tienen la suficiente capacidad para casi toda la sección de viga. La viga fue reforzada adhiriendo placas de acero (3/8" de espesor, 400mm de ancho) para una longitud de 11.6m de los 15.24m totales de longitud de viga.

La losa del Puente No.16 Puerto Nuevo fue reforzada también con el incremento del espesor. La sección cercana al centro del tramo lateral no tiene la capacidad de esfuerzo necesaria aun después del aumento de la losa. Las secciones de viga en ambos tramos laterales fueron reforzadas por el método de adherencia de láminas de FRP (483mm de espesor) para 70 metros de largo

Tabla 11.3.17. Comparación de Estructura Principal para Losas de Puentes de Concreto Reforzado

Puente No.	Nombre del Puente	Condiciones Existentes			Condiciones después del Refuerzo				
		Esfuerzo sobre posición	Esfuerzo (N/mm ²)		Método de Refuerzo	Esfuerzo (N/mm ²)			
			Concreto (7.40)	Refuerzo (138)		Concreto (7.40)	Refuerzo (138)	FRP (633)	Placa Acero (141)
7	Azufrado	Centro de Tramo principal	5.7	227	Adherir Placa de Acero	3.0	134	-	90
		Soportes	8.2	173	Incrementar	6.5	137	-	-
12	Puerto Nuevo (Puente CR)	Centro del Tramo	4.3	155	Adherir Placa de Acero	4.4	136	-	75
16	Nuevo	Centro de Tramo Lateral	5.0	156	Adherir Lámina FRP	3.2	136	263	-

4) Puentes de Vigas I PC

Las vigas I PC del Puente No.29 Torres consisten en tres vigas simples con dos tipos de tramos de longitudes de 30m y 17m. La viga de 17m tiene la suficiente capacidad para la carga viva incrementada, la viga de 30m no tiene la capacidad. El esfuerzo de tensión al centro de la viga de 30m excede el permitido concreto presforzado. El centro del tramo principal fue reforzado adhiriendo 6 capas de láminas de FRP alrededor del ala inferior para una longitud de 13.0m.

Tabla 11.3.18. Comparación de Estructura Principal para Puentes de Vigas I PC

Puente No.	Nombre del Puente		Condiciones Existentes			Condiciones después de Refuerzo			
			Esfuerzo sobre posición	Esfuerzo (N/mm ²)		Método de Refuerzo	Esfuerzo (N/mm ²)		
				Concreto			Concreto (7.40)	Refuerzo (138)	FRP (633)
				Compresión (12.3)	Tensión (-2.9)				
29	Torres	30 m	Centro del Tramo Principal	11.4	-3.7	Adherencia de Láminas FRP	11.4	118	379
		17 m	Non	8.6	-1.8	-	-	-	-

11.4 Accesorios

Los accesorios que se toman en consideración para la rehabilitación y mejora de los 10 puentes seleccionados son los siguientes:

- 1) Pavimento Asfáltico
- 2) Impermeabilización de la Losa
- 3) Juntas de Expansión
- 4) Apoyo
- 5) Baranda

Estos accesorios son partes de puente muy importantes para mantener el rendimiento de la estructura del puente y la seguridad del tráfico. El propósito de estas estructuras se muestra en la Tabla 11.4.1.

Tabla 11.4.1. Propósitos de Accesorios

Tipo de Accesorio	Propuesta
Pavimento Asfáltico	El pavimento asfáltico se coloca sobre la losa de concreto para proveer una superficie de ruedo suave y una condición de manejo cómodo para proteger la losa de los daños causados por el tráfico, agua y acciones químicas.
Impermeabilización de la Losa	La Impermeabilización se coloca entre el pavimento asfáltico, la losa de concreto para mejorar el ajunte de las aguas y proteger la losa de concreto del daño.
Juntas de Expansión	Las juntas de expansión cubren las brechas del pavimento entre la viga y el bastión para proveer una transición sutil desde la carretera de aproximación al puente y para poder proteger los apoyos y las vigas de debajo de la losa del agua que se filtra a través de la brecha en el pavimento al usar juntas de tipo drenable.
Apoyo	Existen los apoyos para el peso muerto de la estructura y la carga viva y para transferir estas cargas a la subestructura.
Baranda	La baranda se coloca en ambos lados del borde de la losa para prevención.

1) Pavimento Asfáltico

El pavimento asfáltico es un material de pavimento común para las carreteras en la parte del puente y de la superficie sobre la vía excepto el área especial cerca del tollgate. La mayoría de los puentes en Costa Rica no han pavimentado con pavimento asfáltico y el grosor de ½” de la parte superior de la losa de concreto se incrementa como una cubierta de concreto en el diseño. Sin embargo, la superficie de la losa de concreto se ha dañado/deteriorado por la pesada carga de tráfico o las condiciones severas del clima. Las grietas de concreto no paran en la capa de la cubierta y se extienden a la capa diseñada para el grosor efectivo de la losa. Algunos puentes han sido pavimentados con concreto asfáltico en la parte superior de la losa. Pero, estos pavimentos asfálticos se han dañado y las condiciones de la superficie son muy malas debido a la falta de mantenimiento.

Por lo tanto, se propone pavimentar la losa del puente existente con concreto asfáltico con un grosor de 50mm, inclusive el puente tiene la capa de cubierta de concreto como parte de la losa de concreto. Para los puentes que ya están pavimentados el pavimento asfáltico deberá ser reemplazado deberá ser repavimentado con impermeabilizante para proteger la losa.

2) Impermeabilización de la losa

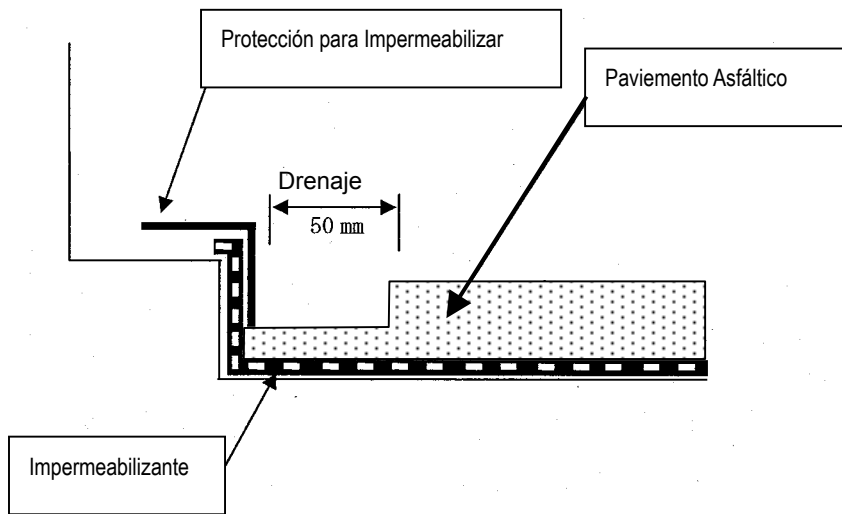
(1) Generalidades

Incluso cuando la losa de concreto este pavimentada por concreto asfáltico, existe la posibilidad de que la losa se deteriore por corrosión en el acero de refuerzo o deterioro en el concreto por la penetración de agua desde la superficie del pavimento. En especial la losa alrededor de soportes intermedios en puentes continuos, donde está la parte a tensión de la dirección longitudinal del puente y las partes de conexión de concreto prefabricado, ya que estos son los puntos débiles de las filtraciones de agua. Por lo tanto se propone ejecutar la impermeabilización de la losa para protegerla.

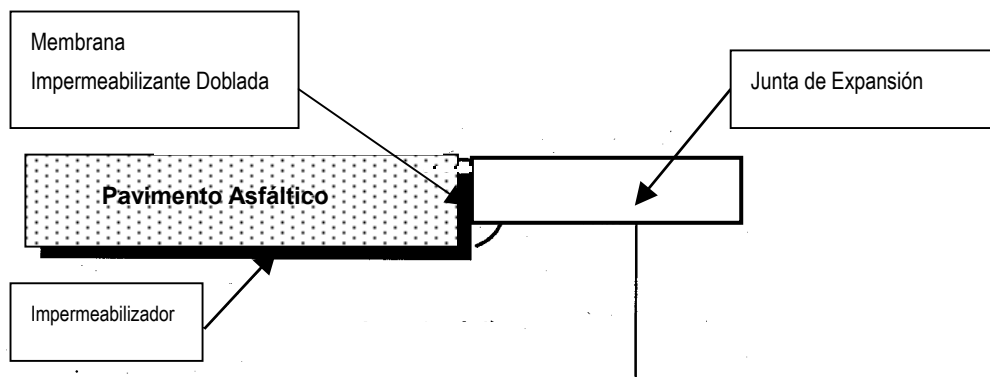
Hay dos tipos de sistemas de membranas impermeabilizantes de losas de puente como los siguientes:

- | | | |
|------------------------------------|---|---|
| Membrana Auto-Adherida | : | Esta es una membrana de refuerzo de poliéster de alta resistencia con componentes de hule/bituminosos, la cual se aplica en frío. |
| Membrana impermeabilizante líquida | : | Este es un compuesto de dos componentes, que son mezclados simplemente en el campo para producir una mezcla viscosa la cual trata la membrana impermeable elastomérica. |

La membrana impermeable debe doblarse en el borde y se deben de proveer en los bordes y los drenajes al borde de la vía, como se muestra en la Figura 11.4.1



(a) Al borde de la Vía



(b) En la Junta de Expansión

Figura 11.4.1. Detalle de Impermeabilización

3) Junta de Expansión

En algunos de los puentes no existen juntas de expansión y el borde de la losa de concreto se protege con un miembro de acero. Como la mayoría de las juntas de expansión se encuentran rotas y el concreto asfáltico en la junta se muestra en la Figura 11.4.2. La filtración de aguas a través de estas juntas causan el deterioro de los apoyos y las vigas debajo de la junta.

Se propuso que todas las juntas de expansión incluyendo las protecciones de la losa de concreto sean reemplazadas por juntas nuevas, que puedan proteger de la filtración de aguas a través de la junta.



(a) Junta de Expansión Rota

(b) No hay Junta de Expansión

Figura 11.4.2. Condición de las Juntas de Expansión

(2) Tipo de Junta de Expansión

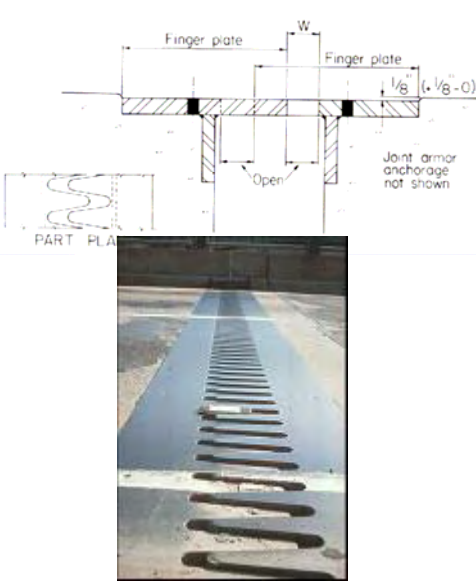
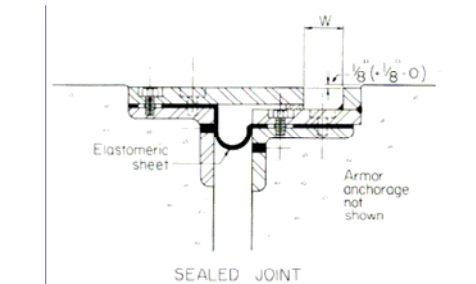
Hay muchos tipos de juntas de expansión para el grosor de expansión requerido, Se pueden clasificar en dos tipos basados en el drenaje del sistema de la junta.

a) Juntas Abiertas

Las juntas abiertas permiten el paso del agua y los escombros de la superficie de la losa a través de la junta. Los dos ejemplos de juntas abiertas se muestran en la Tabla 11.4.2.

Tabla 11.4.2. Juntas Abiertas (Juntas de Expansión Tipo Drenadotas)

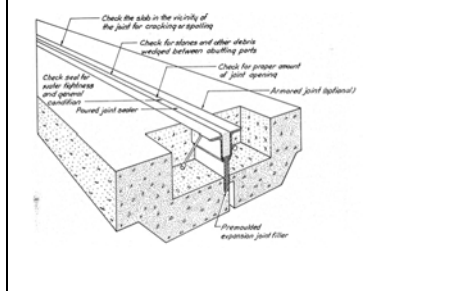
<p>Junta Moldeada</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Se usan en los puntos de apoyo fijos con una pequeña brecha de la losa. - Se usan para losas de concreto sin pavimentar. - El borde del concreto de la losa y la pared del parapeto se refuerzan con los ángulos de acero.
--	--	--

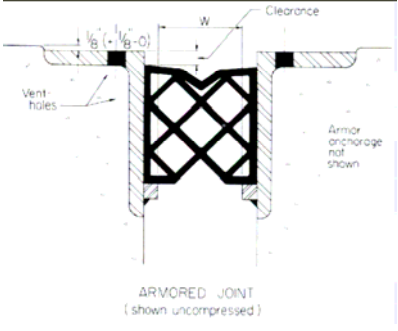
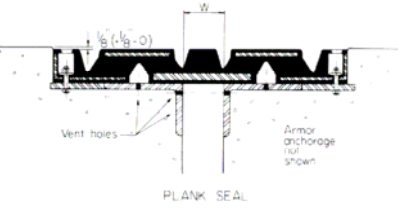
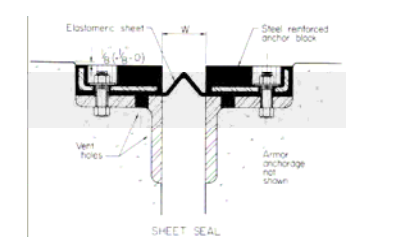
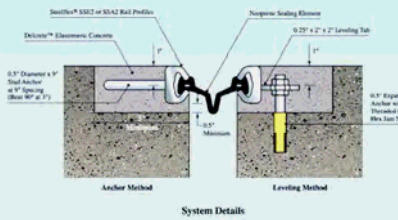
<p>Juntas de Placas Dentadas</p>		<ul style="list-style-type: none"> - La junta de placa dentada, consiste en dos placas de acero con dientes entrelazados. Estas juntas se encuentran usualmente en puentes de tramos largos donde se requiere de expansiones grandes. - Las juntas de placas dentadas son usadas para acomodar movimientos de 100 a mas de 600mm. - Algunas veces se colocan canales debajo de las juntas abiertas de placa dentada para proteger de la filtración del agua a través de la junta. - Hay dos tipos de juntas de placas dentadas, juntas de placas dentadas en voladizo y placas dentadas soportadas. Las placas dentadas en voladizo cuando se requiere de relativamente poco ancho de expansión y las placas dentadas soportadas se usan en largos tramos. - Algunos tipos de placas dentadas son segmentadas y permiten el reemplazo si es necesario
<p>Junta de Placa Deslizante</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Una junta de placa deslizante esta compuesta de dos placas que se deslizan una por encima de otra - La junta de placa deslizante es usualmente no impermeable e intenta sellar la junta, algunas veces se usa una lamina elastomérica para llevar el agua a los lados de la losa (ver figura) - Esta lámina se adjunta entre las placas en las juntas. La placa se puede acomodar de manera que de un movimiento máximo de 100mm (4 pulgadas).

b) Juntas Cerradas

Las juntas cerradas están diseñadas de manera que el agua y escombros no pasen a través de la superficie de la losa y para proteger la viga y la subestructura debajo de la junta del deterioro debido al agua y los escombros. La Tabla 11.4.4. muestra los ejemplos típicos de juntas cerradas.

Tabla 11.4.3. Juntas Cerradas (Junta de Expansión Tipo Drenaje)

<p>Junta de Sello acanalado</p>		<p>Una junta de sello acanalado esta hecha de dos materiales la base y el sello acanalado. La base consiste en una junta de expansión de relleno mejorada. La parte superior de es 25 a 50mm del tope de la losa. El espacio restante de la junta consiste en el canal sellador que es separado de la base por una barra de sostén. Dado a que la junta de sello acanalado se puede acomodar para movimientos de 6mm es usual encontrarla en estructuras de tramos cortos.</p>
---------------------------------	---	--

<p>Sellos de compresión</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Un sello de compresión consiste en formas rectangulares de neopreno con sección transversal perforada (ver figura) El diseño perforado permite el sello de compresión y su recuperación después de la expansión o contracción. - Los sellos a compresión pueden tener angulares de acero para el acomodo con las losa y el parapeto - Estos sellos vienen en variedad de tamaños y a menudo se clasifican por su capacidad de movimiento máximo. -Un sello de compresión largo puede acomodar un movimiento máximo de aproximadamente 50mm
<p>Sellos Elastoméricos prefabricados (Sellos Tablón)</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Un sello Tablón consiste en refuerzo de neopreno que da soporte a las ruedas de los vehículos sobre la junta. Este tipo de sello es apernado a la losa y es capaz de acomodar movimientos de 50 a 330mm
<p>Sellos Elastoméricos prefabricados (Sellos de Lámina)</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Un sello de lámina consisten en dos bloques de acero reforzado con neopreno. Esta junta puede acomodar movimientos de aproximadamente 100 mm.
<p>Sellos Elastoméricos prefabricados (Sellos Descubiertos)</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Un sello descubierto consiste en dos anclajes de acero acanalados dentro de la losa y parapeto. Un sello de neopreno se ajusta dentro de los surcos del tramo. Esta junta puede acomodar un movimiento máximo de aproximadamente 100mm

(3) Instalación

Para la losa existente que no cuenta con pavimento asfáltico, existirá 5 cm de distancia entre la nueva superficie del pavimento y la junta de expansión existente. La junta de expansión deberá a una posición de 5 cm más alta con el concreto.

La Figura 11.4.3 ofrece un ejemplo de la posición de colocación de la junta de expansión para el puente de viga de acero simple o el puente de viga tipo I de PC.

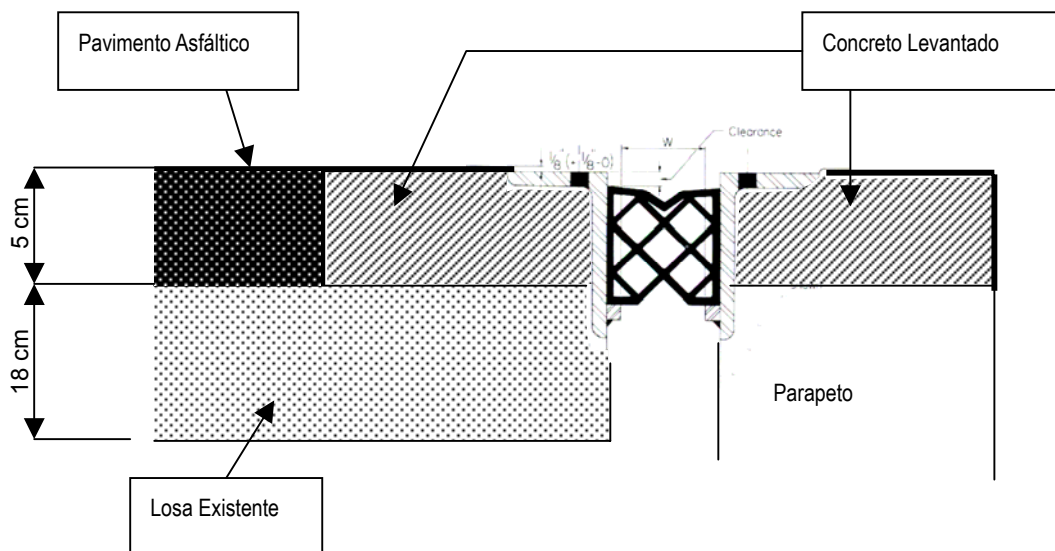


Figura 11.4.3. Ejemplo de Método para Fijar Nuevas Juntas de Expansión

11.5 Sistema de Prevención de Colapso del Puente

11.5.1 Desempeño Sísmico

El sistema de prevención de colapso del puente se deberá de seleccionar para tomar en consideración el nivel de desempeño sísmico, que será decidido con base en la importancia del puente. Hay dos niveles para el desempeño objetivo del diseño sísmico. El nivel básico de desempeño sísmico es un instrumento de seguridad para la fuerza sísmica y el segundo nivel es un tipo de servicio después de que ocurra un terremoto. Este desempeño de servicio es que el puente sea abierto al tráfico para evacuación, operación de rescate y ruta de transporte para servicios médicos y para enviar ayuda a las víctimas.

La Tabla 11.5.1 muestra el nivel de desempeño sísmico

Tabla 11.5.1. Nivel de Desempeño Sísmico

Desempeño Sísmico -1	El desempeño de seguridad de la estructura del puente en contra de la carga de terremotos, la cual se evalúa como la capacidad de carga y la estabilidad para la fuerza sísmica.
Desempeño Sísmico -2	El desempeño del servicio para mantener el mismo desempeño para el tráfico que había desde antes del terremoto. Para evitar la interrupción del tráfico, incluso cuando ocurre un desplazamiento grande entre la superestructura y la subestructura. Para prevenir el colapso de la viga o transformar y prevenir la colocación de la superficie del puente.

Todos los 10 puentes seleccionados en las rutas más importantes en Costa Rica. Se requiere mantener una ruta hasta después del terremoto y el sistema de prevención de colapso de puentes para puentes que fueron diseñados para satisfacer el desempeño-2.

11.5.2 Concepto Básico de Sistema de Prevención para Colapso de Puentes

1) Componentes del Sistema de Prevención para Colapso de Puentes

El sistema de prevención consiste en la longitud de asiento de la viga en el soporte, la conexión de la viga, limitando el desplazamiento excesivo de la estructura, las estructuras para la prevención del asiento de la superestructura se muestran en la Tabla 11.5.2.

Tabla 11.5.2. Componentes del Sistema de Prevención para Colapso de Puentes

Componentes	Explicación
Longitud de Asiento de Viga	Al mantener suficiente longitud desde el final de la viga al borde de la subestructura para prevenir el colapso de la viga.
Conexión de las Vigas	Prevenir el colapso de la viga más allá del asiento Crear un sistema complementario para el asiento y una estructura segura contra el derrumbe. Trabaja antes de que se mueva la viga más allá del asiento.
Estructuras que limitan el desplazamiento excesivo	Para evitar un gran desplazamiento de la viga después de que se dañe el apoyo.
Prevención de la colocación de la Viga	Para prevenir que la viga se encaje después de que el apoyo se dañe. Para evitar la diferencia a nivel de la carretera.

(2) Diseño del Sistema de Prevención

Los componentes del sistema de prevención para el colapso de puentes deben ser seleccionados tomando en consideración con las condiciones estructurales tales como tipo del puente y condición de apoyo. Los puntos claves del diseño del Sistema de Prevención de Asiento se muestran a continuación

- en consideración de la secuencia de trabajo, características estructurales y capacidad de movimiento permitida de cada estructura de prevención.
- La relación de capacidad de movimiento entre cada estructura de prevención se

muestra a continuación.

Soporte < Estructura Limitadora de Desplazamiento Excesivo
 < Conexión de la Viga < 75% Longitud de Asiento de la Viga

- La capacidad de movimiento de cada estructura de prevención deberá ser la misma que en la línea de apoyo.
- Los errores de fabricación se pueden arreglar en el sitio.
- Las diferencias de escala y tipo entre las vigas adjuntas. El sistema de conexión de la viga no se aplica en caso de que la diferencia de las fuerzas de reacción entre las vigas adjuntas sea más de 2 veces, o la diferencia del periodo natural en el diseño de la unidad de vibración sea más de 1.5 veces.

11.5.3 Metodología de Diseño de Sistema de Prevención para el Colapso del Puente

1) Longitud de Asiento de Vigas

(1) Longitud de Asiento Requerida

La longitud de asiento S_E de la viga en el apoyo se muestra en la Figura 11.5.1. Y la longitud necesitada debe ser calculada de acuerdo con la siguiente Formula la cual se obtuvo del “Estándar Japonés para Puentes de Carreteras No.V”

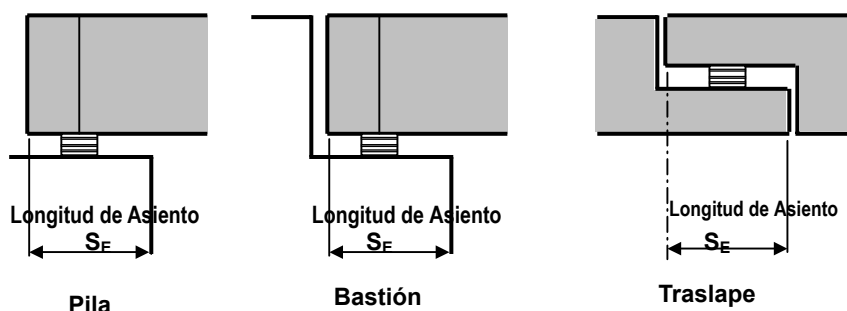


Figura 11.5.1. Longitud de Asiento para Vigas

$$S_E = 0.7 + 0.005L$$

donde

S_E : Longitud de Asiento (m)

L : Distancia entre subestructuras afectadas en la longitud de asiento (m)

La longitud L es la distancia del punto fijo de la viga al punto del objeto como se muestra en la Figura 11.5.2

Cuando la dirección actuante de la presión de tierra en la subestructura no es la misma que la dirección longitudinal al eje del puente, como en puentes desfasados o puentes curvados, se deberá medir la longitud de asiento en el soporte en la dirección en la que se da la menor distancia entre el fin de la viga y el tope con el borde de la subestructura como se muestra en la Figura 11.5.3.

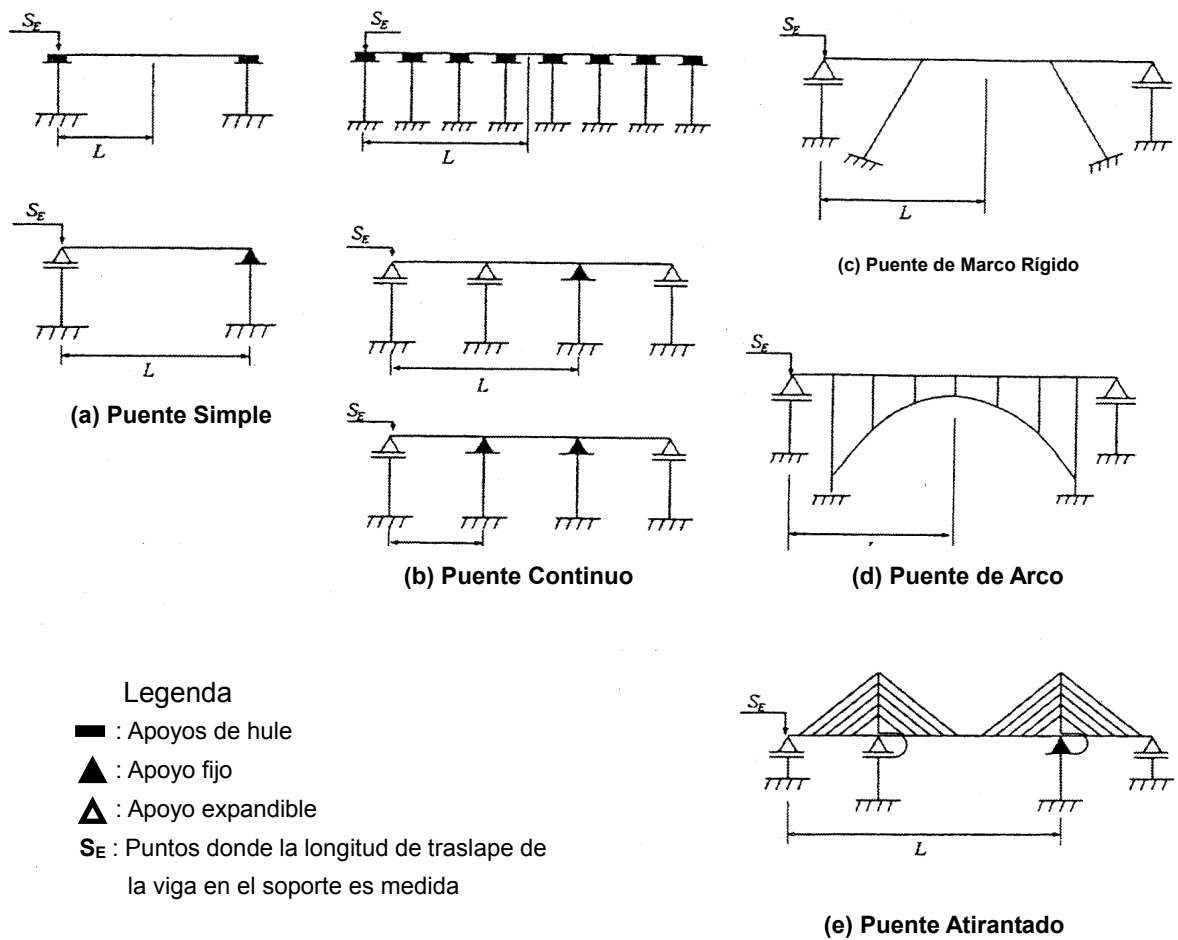


Figura 11.5.2. Distancia para calcular la Longitud del asiento

Calcular la longitud de asiento

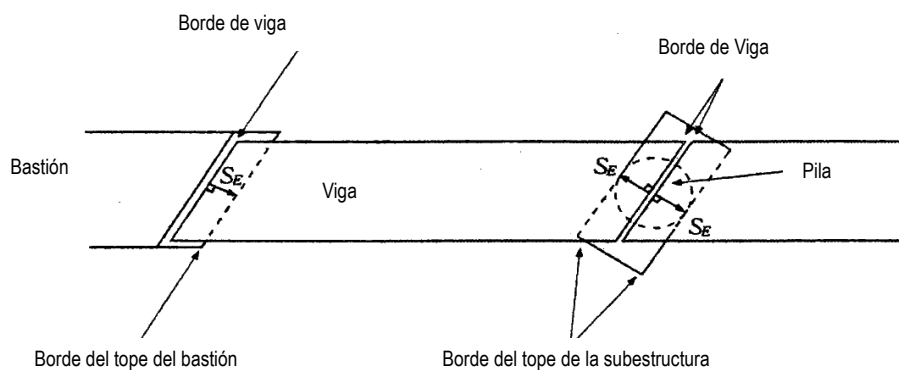


Figura 11.5.3. La longitud de asiento para un puente sesgado

(2) Estructura para ensanchar la Longitud del Asiento

Hay dos tipos de estructuras para ensanchar el asiento de la estructura existente. Uno es una ménsula de acero y la otra es una ménsula de concreto. La ménsula de acero deberá ser prefabricada en una fábrica y reparar en el sitio. El trabajo de reparación no es fácil de ajustar en la superficie del concreto existente de la subestructura. El tipo de acero es más costoso que el de concreto. El tipo de concreto es más fácil de ajustar y se puede hacer junto con las estructuras de prevención requeridas.

El tipo de concreto se aplicó para ensanchar la longitud del asiento para todos los puentes en este proyecto.

Las dimensiones de las ménsulas de concreto se determinaron con base en el ancho requerido para la longitud del asiento y el tamaño del apoyo, de acuerdo a los estándares japoneses como se muestra en las Figuras 11.5.4 y 11.5.5. Para el diseño de las ménsulas, la carga de diseño R_d se toma 1.5 veces de la carga muerta que actúa en el apoyo.

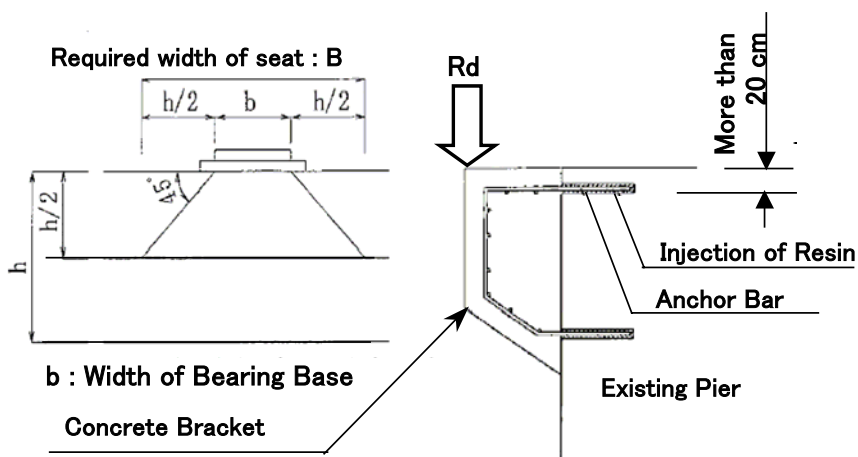


Figura 11.5.4. Dimensiones Requeridas de las Ménsulas de Concreto

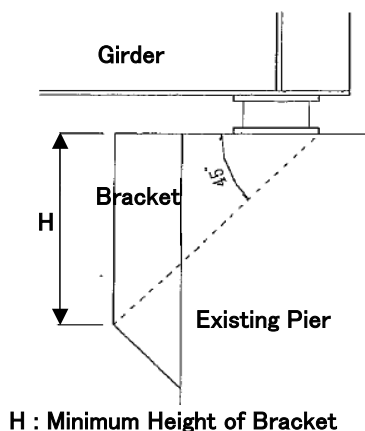


Figura 11.5.5. Altura Mínima de Ménsula

2)

Conexión de la

Viga

(1) Tipos de estructuras de prevención de asiento

El sistema de conexión de la viga se coloca para prevenir el colapso de las vigas directamente. Deberá de trabajar después de que el apoyo y las estructuras que limitan el desplazamiento excesivo se rompen por el sismo. El sistema de conexión no deberá molestar los momentos y la rotación de los apoyos y las estructuras que limitan el desplazamiento excesivo. El sistema de conexión de la viga puede estar dividido en los siguientes tres tipos:

- Estructura protuberante colocada en la superestructura y subestructura.
- Estructura conectando la viga y la subestructura.
- Estructuras para la conexión de dos vigas

a) Los detalles de cada tipo se muestran de la Tabla 11.5.3 a la 11.5.58

Tabla 11.5.3 Estructura Protuberante

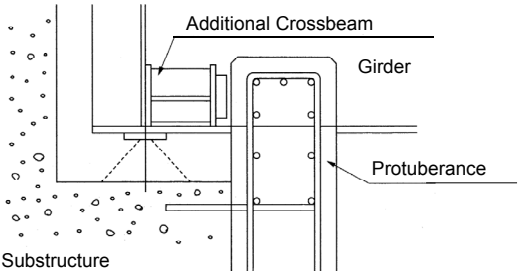
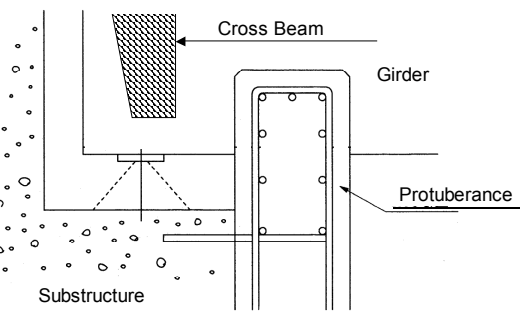
Contorno de la Estructura	Característica
 <p>a) En el Caso de Puente de Acero</p>  <p>b) En el caso de Puente de Concreto</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Una protuberancia del lado de la subestructura es una estructura de concreto fijada por pernos de anclaje -En la superestructura lateral se debe instalar un diafragma adicional entre las vigas o poner un diafragma al final y fijarlo con H.T.B. o soldadura -Donde una subestructura tiene espacio suficiente en el tope de la protuberancia de la estructura se debe instalar en el tope. -Una protuberancia se debe de unir con la ménsula de concreto para ensanchar el asiento.

Tabla 11.5.4 Estructura para conectar la viga a la subestructura

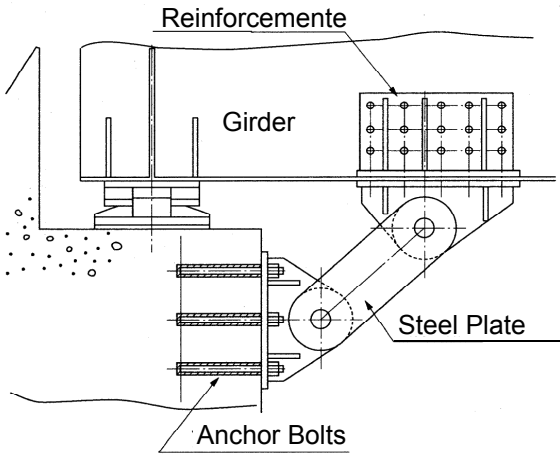
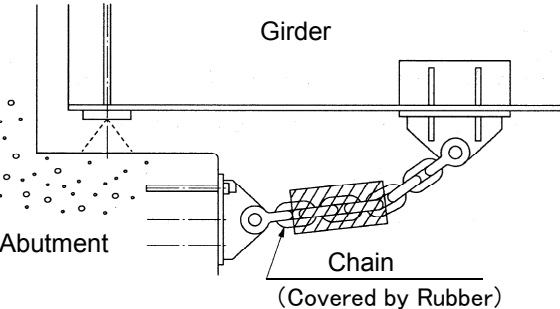
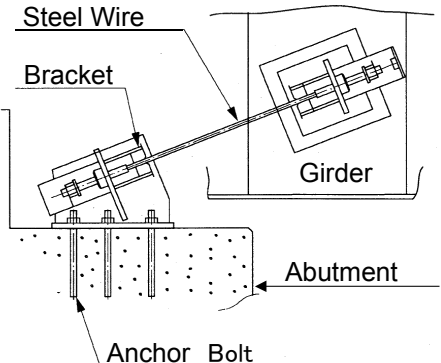
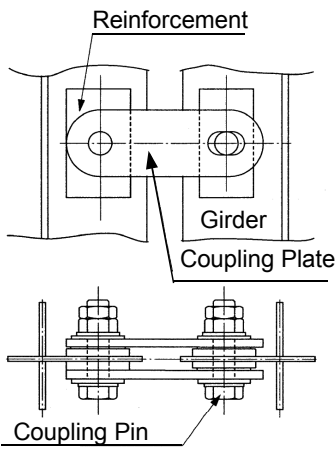
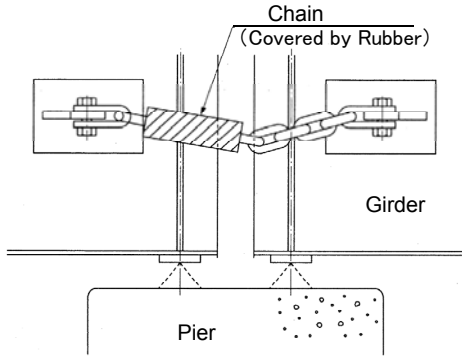
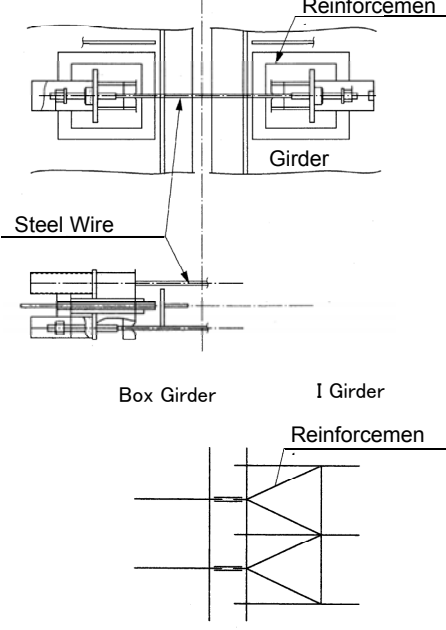
Contorno de la Estructura	Característica
	<ul style="list-style-type: none"> -No aplica para movimientos grandes de la superestructura. - No puede resistir el moviendo de la dirección transversal. -Este tipo de estructura no puede absorber el impacto de terremotos. -Se necesita refuerzo en la viga. -Aplica en estructuras sin obstáculos cerca del final del diafragma -En la subestructura se debe fijar una ménsula por medio de pernos de anclaje, o en la superestructura se debe fijar una ménsula usando H.T.B. -Dado a que el perno de anclaje es en dirección horizontal la marca de los huecos para perforación no es fácil.
	<ul style="list-style-type: none"> - Aplica para grandes movimientos de la superestructura. -Aplica para la subestructura con suficiente espacio en la parte superior -Aplica para la estructura con obstáculos cerca del final del diafragma. -Este tipo de estructura puede absorber el impacto de la fuerza por terremoto. -Se necesita refuerzo de la viga - Permite el movimiento en todas las direcciones -Errores de fabricación se pueden asimilar en la etapa de construcción. -Se necesita que la cadena se cobra con hule.
	<ul style="list-style-type: none"> - Aplica para grandes movimientos de la superestructura. - Cuando hay ciertos obstáculos rodeando el diafragma se puede instalar. - Este tipo de estructura puede absorber el impacto por la fuerza del terremoto. - Permite el movimiento en todas las direcciones -Se necesita refuerzo del alma de la viga. -Se necesita tratamiento de protección a la corrosión -Se necesita ajustar la longitud del cable de acero -Errores de fabricación se pueden asimilar en la etapa de construcción.

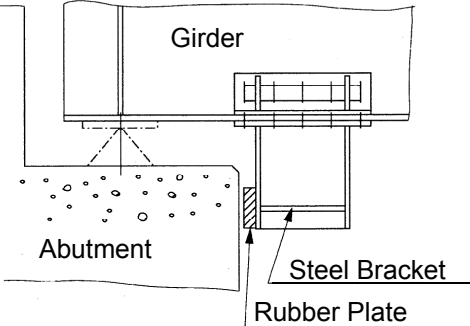
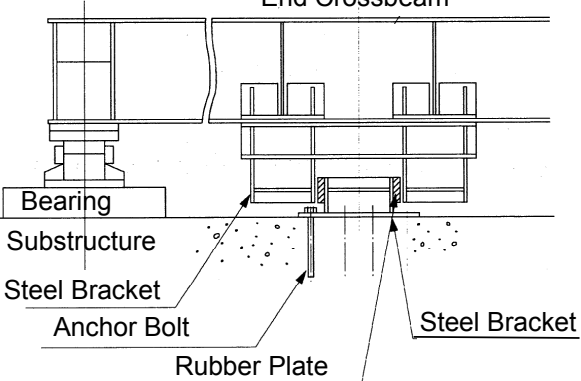
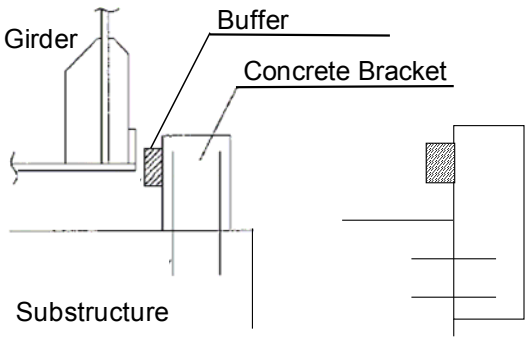
Tabla 11.5.5 Estructuras para conectar las dos vigas

Contorno de la Estructura	Característica
	<ul style="list-style-type: none"> - Aplica sólo para movimientos pequeños - Aplica para la subestructura con suficiente espacio en la parte superior. - No puede resistir el movimiento de la dirección transversal. - Este tipo puede restringir la deformación por temperatura o carga viva como el movimiento o rotación del apoyo - Este tipo de estructura no puede absorber el impacto por terremoto. - Este tipo de estructura puede absorber el impacto por terremoto. - La exactitud de la administración se requiere dado a la dificultad de asimilar el error de fabricación en la etapa de construcción
	<ul style="list-style-type: none"> - Aplica en grandes movimientos de la superestructura - Esta disponible en casos en los que no hay suficiente espacio en el tope de la subestructura - Cuando hay ciertos obstáculos rodeando el diafragma se puede instalar. - Este tipo de estructura puede absorber el impacto por terremoto. - Se necesita refuerzo de la viga - Permite el movimiento en todas las direcciones - Errores de fabricación se pueden asimilar en la etapa de construcción. - Se necesita cubrir la cadena con hule.
	<ul style="list-style-type: none"> - Se puede aplicar cuando hay grandes movimientos en la superestructura. - Cuando hay ciertos obstáculos rodeando el diafragma se puede instalar. - Este tipo de estructura puede absorber el impacto por terremoto. - Permite el movimiento en todas las direcciones - Se necesita refuerzo del alma de la viga - Se necesita tratamiento de protección a la corrosión - Se necesita ajustar la longitud del cable de acero - No puede conectar las vigas, donde los ejes de la viga no tienen la misma posición. - Errores de fabricación se pueden asimilar en la etapa de construcción. - Se requiere de chequeo de la posición del cable de acero o hueco de penetración para evitar la interferencia con otro miembro

2) Estructuras limitadoras de Desplazamiento Excesivo

Los detalles de la estructura que limitan el desplazamiento excesivo se muestran en la Tabla 11.5.6

Tabla 11.5.6 Estructura que limita el desplazamiento excesivo

Contorno de la Estructura	Característica
	<ul style="list-style-type: none"> -Esta estructura es instalada para limitar el movimiento en la dirección longitudinal al eje del puente. -Con el fin de absorber el impacto de la fuerza sísmica una placa de hule se debe fijar a la ménsula -La ménsula debe fijarse con H.T.B. a la viga - Se necesita refuerzo en la viga.
	<ul style="list-style-type: none"> - Esta estructura es instalada para limitar el movimiento en la dirección longitudinal al eje del puente. - Con el fin de absorber el impacto de la fuerza sísmica una placa de hule se debe fijar a la ménsula. - Cuando hay ciertos obstáculos rodeando el diafragma no se puede instalar. -Se requiere revisar la posición del soporte. - Se debe fijar una ménsula con H.T.B. en la viga y un freno se coloca en la subestructura con pernos de anclaje en la subestructura - Se necesita refuerzo en la viga transversal.
	<ul style="list-style-type: none"> -Se debe de colocar un freno de tipo protuberancia de concreto en la subestructura con anclajes. -No es suficiente para colocarse en el lado o la parte superior de la subestructura - Se puede instalar dentro de la viga -No es necesario adjuntar ninguna estructura en la viga (fácil construcción y más barato)

4) Estructuras para Evitar el Asentamiento de la Superestructura

La estructura para prevenir el asentamiento de la superestructura mantiene la diferencia e nivel de la superficie del puente al nivel mínimo para permitir el paso de vehículos de emergencia después del terremoto. La destrucción de los soportes por un terremoto es una de las causas por las que ocurren las diferencias en la superficie. Por lo que. Esta estructura para la prevención es efectiva para los puentes con apoyos altos, si la diferencia es menor a 10cm, no será un obstáculo fatal para el movimiento de vehículos de emergencia. Por lo tanto, esta estructura apoya de manera temporal de la superestructura y deberá ser diseñado para tener suficiente capacidad para apoyar la carga de la superestructura.

La Figura 11.5.6 muestra los ejemplos de la estructura para prevenir el asentamiento de la superestructura.

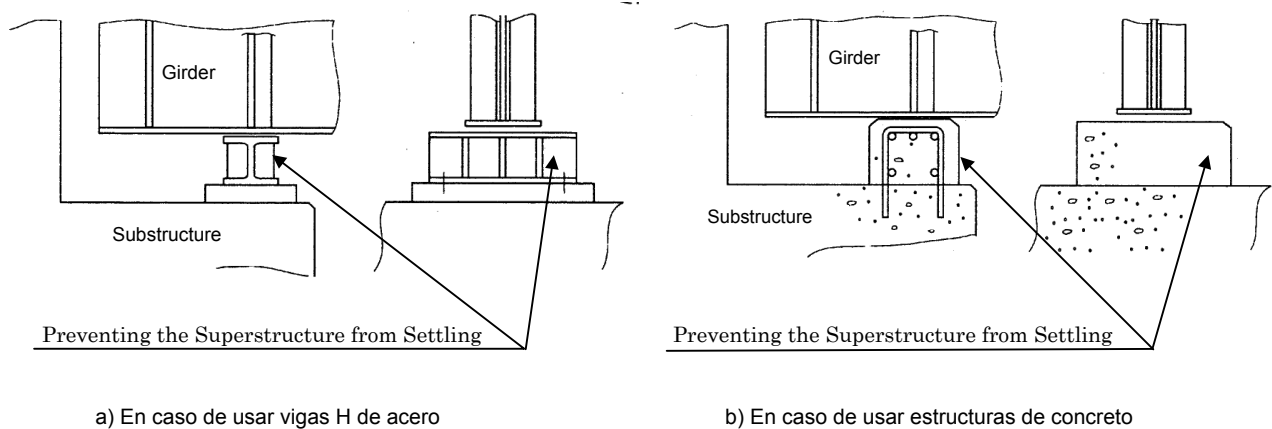


Figura 11.5.6. Dimensiones Requeridas para la Ménsula de Concreto

5) Refuerzo de Goznes en Puentes en Voladizo

El refuerzo de goznes para puentes en voladizo se puede reforzar normalmente al seguir los siguientes métodos:

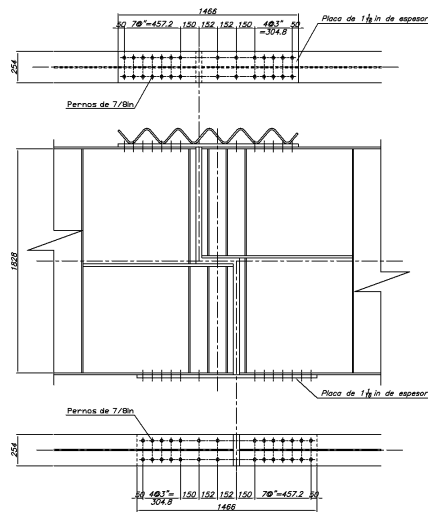
- Continuación de las vigas
- Ensanchamiento de la longitud del asiento
- Conexión de las vigas

La Figura 11.5.7 muestra los ejemplos del refuerzo de los goznes del puente de voladizo. En la Tabla 11.5.7 se comparan estos métodos. El método de continuación de la viga es el método más aplicable sin embargo deberá ser evaluado con base en las características del puente objetivo.

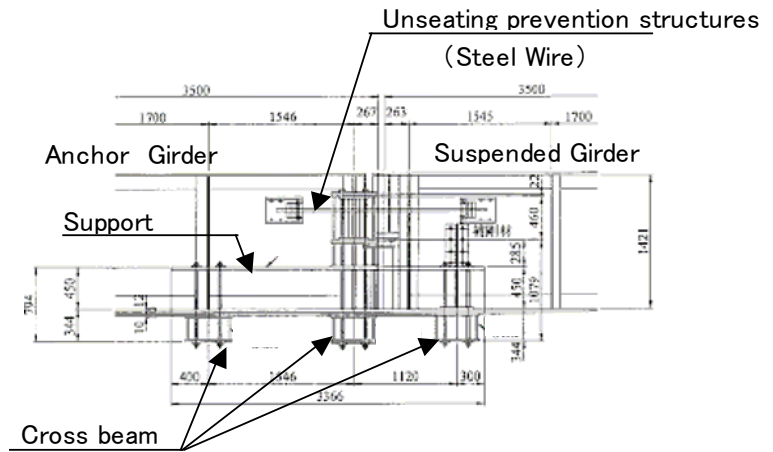
Tabla 11.5.7 Reforzamiento de los goznes en el Puesto de Voladizo

	Viga Continua	Longitud de Ancha	de Asiento	Conexión de las Vigas
Desempeño sísmico	A		B	C
Capacidad de Trafico	A		B	B
Mejorar en capacidad de carga	A		B	C
Control de trafico durante la construcción	C		B	B
Mantenimiento después del refuerzo	A		B	C
Grado de Dificultad de ejecución	A		C	B

A: Bueno, B : Medio, C : Bajo



(a) Continuación de la Viga



(b) Ensachar la Longitud de la Viga

Figura 11.5.7. Refuerzo del gozne para el puente en voladizo

11.5.4 Condiciones Existentes y Medidas Requeridas

El Puente No. 7 sobre el Río Azufrado es un puente de losa de marco rígido de concreto reforzado y no tiene bastiones por lo que no es requerido estimar el sistema de prevención. En los 9 puentes, excepto en el Puente del Río Azufrado (7) se estudió el sistema de prevención sísmico para colapso y a continuación se describe la condición existente y medición necesaria en cada puente.

El Puente No. 16 sobre el Río Nuevo y el Puente No. 19 sobre el Río Sarapiquí cambiaron sus condiciones de apoyo para mejorar el desempeño sísmico. El sistema de prevención para colapso de puentes para estos dos puentes se evaluó para mejorar la estructura.

1) Longitud de Asiento de Viga

La condición existente de la longitud del asiento en cada puente y la longitud necesaria del asiento de la viga se muestra en la Tabla 11.5.8. Solamente el puente sobre el Río Chirripó (17) y el Río Sucio (20) satisfacen los requerimientos de longitud de asiento y los otros 7 puentes no satisfacen la longitud de asiento requerida.

El puente (19) Río Sarapiquí es un puente en voladizo con 2 goznes entre la P1 y P2. Para mejorar el desempeño sísmico se concentrarán 2 series de vigas juntas en la porción del gozne. Por lo tanto el sistema de prevención para colapso de puentes para el Puente sobre el Río Sarapiquí se diseñó para un puente mejorado de 3 tramos continuos.

Tabla 11.5.8. Condiciones Existentes y Longitud de Asiento Requerido

Route No.	Bridge No.	Bridge Name	Type of Bridge	Total Length (m)	Member	Support Condition	Existing Condition				Seat Length				
							Width (m)		Height (m)	Angle (deg)	Span Length	Required (m)	Existing (m)	Lack Length(m)	Addition (m)
							L	T							
1	2	Rio Aranjues	3 Spans Continuous Truss Bridge	87.782	A1	M	0.762	9.246	9.373	0	63.4	1.01699	0.6096	0.40739	0.41
					P1	M	1.067	6.858	14.63	0	-	-	-	-	-
					P2	F	1.067	6.858	14.63	0	-	-	-	-	-
					A2	M	0.762	9.246	10.72	0	24.38	0.82192	0.6096	0.21232	0.3
	3	Rio Abangares	Single Span Truss Bridge	39.319	A1	F	0.838	10.52	13.41	0	39.32	0.8966	0.5842	0.3124	0.32
					P1	M	1.524	10.21	11.13	0	39.32	0.8966	0.7112	0.1854	0.3
					P1	M	60.96	1.0048	0.7112	0	60.96	1.0048	0.7112	0.2936	0.3
	7	Rio Azfurado	3 Spans Rigid Frame RC Deck Slab Bridge	31.394	P1		-	-	-	-	-	-	-	-	-
					P2		-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	12	Rio Puerto Nuevo	Single Span Non Composite Steel I Beam	21.336	A1	F	0.457	9.144	9.154	5.028	-	-	-	-	-
			Single Span Non Composite Steel I Beam	21.336	P1	M	0.914	7.62	16.61	5.028	21.34	0.80668	0.28734	0.51934	0.52
					P2	F	0.914	7.62	17.53	0	-	-	-	-	-
			Single Span Non Composite Steel I Beam	21.336	P2	F	0.914	7.62	17.53	0	-	-	-	-	-
					P3	M	0.914	7.62	19.05	0	21.34	0.80668	0.28734	0.51934	0.52
			Single Span Composite Steel I Beam	24.384	P3	M	0.914	7.62	18.14	0	24.38	0.82192	0.28734	0.53458	0.54
					P4	F	0.914	7.62	18.14	0	-	-	-	-	-
			Single Span RC Deck Slab Bridge	15.24	P4	M	0.914	7.62	18.14	0	15.24	0.7762	0.31274	0.46346	0.47
	16	Rio Nuevo	3 Spans Continuous RC Deck Slab Bridge	55.474	A1	M	0.533	9.042	2.613	0	17.07	0.78534	0.4572	0.32814	0.33
					P1	F	-	7.925	8.153	0	-	-	-	-	-
					P2	M(F)	-	7.925	8.153	0	-	-	-	-	-
					A2	M	0.533	9.042	2.613	0	17.07	0.78534	0.4572	0.32814	0.33
4	17	Rio Chirripo	3 Spans PC Box Girder Bridge	175.8	A1	M	1.75	10.9	16.13	0	46.5	0.9325	1.7	-0.7675	-
					P1	Stopper	200	520	15.79	0	-	-	-	-	-
					P2	Stopper	200	520	15.79	0	-	-	-	-	-
					A2	M	1.75	10.9	16.13	0	46.5	0.9325	1.7	-0.7675	-
	19	Rio Sarapiquí	3 Spans Steel I Beam Gerbaer Bridge	99.56	A1	M(F)	1.35	8.1	3.34	0	99.56	1.1978	1.1	0.0978	0.3
					P1	M	0.9	8	17.9	0	-	-	-	-	-
					H1	Cont(M)	0.254		0	0	-	-	-	-	-
					H2	Cont(F)	0.254		0	0	-	-	-	-	-
P2	M	0.9	8	17.9	0	-	-	-	-	-					
A2	F	1.35	8.1	3.34	0	-	-	-	-	-					
32	20	Rio Sucio	3 Spans PC Box Girder Bridge	187.25	A1	M	1.5	10.6	20.45	0	55.25	0.97625	1.4	-0.4238	-
					P1	Stopper	5.2	5.2	30.99	0	-	-	-	-	-
					P2	H	1.5	5.2	7.18	0	-	-	-	-	-
	26	Rio Chirripo	6 Spans Continuous Steel I Beam Bridge	399.18	P1	M	0.82	8.9	16.37	0	126.4	1.33195	0.7	0.63195	0.64
					P2	M	1.5	8.9	15.95	0	-	-	-	-	-
					P3	F	1.5	8.9	16.19	0	-	-	-	-	-
					P4	F	1.5	8.9	16.19	0	-	-	-	-	-
					P5	F	1.5	8.9	16.19	0	-	-	-	-	-
					P6	M	1.5	8.9	15.95	0	-	-	-	-	-
					P7	M	0.82	8.9	16.37	0	126.4	1.33195	0.7	0.63195	0.64
Single Span Non Composite Steel I Beam	15.86	P7	M	0.3	8.1	16.37	0	15.86	0.7793	0.3	0.4793	0.48			
A2	F	0.53	10.32	2.99	0	15.86	0.7793	0.43	0.3493	0.35					
218	29	Rio Toress	Single Span PC I Girder Bridge	30	A1	F	0.55	11.68	12.63	0.278	30	0.85	0.515	0.335	0.34
			Single Span PC I Girder Bridge	17	P1	M	1.1	11.1	13.02	0.278	30	0.85	0.515	0.335	0.34
					P2	F	1.1	11.1	9.06	0.328	17	0.785	0.45	0.335	0.34
			Single Span PC I Girder Bridge	17	P2	M	1.1	11.1	9.06	0.328	17	0.785	0.45	0.335	0.34
					A2	F	0.6	11.87	7.67	6.186	17	0.785	0.45	0.335	0.34

2) Conexión de la Viga

Los tipos de conexión de viga seleccionados para los puentes se muestran en la Tabla 11.5.9 y 11.5.10. La conexión de tipo de cadena para los puentes de acero y el tipo de protuberancia de concreto se aplicó en los puentes de concreto.

Tabla 11.5.9 Conexión de la Viga Seleccionada

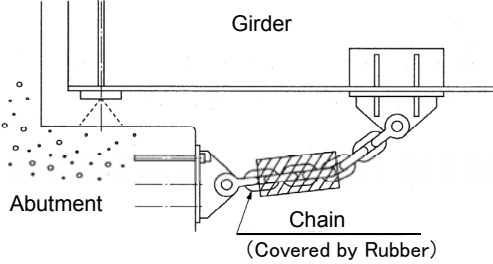
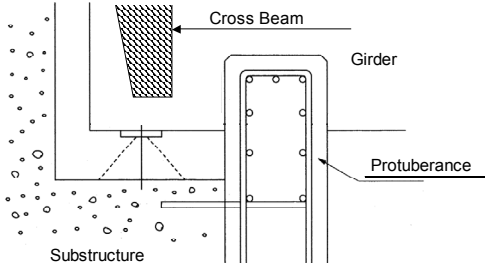
Tipo de puente	Tipo de conexión de la viga	Razón de la selección
Puente de Acero	La Estructura Tipo Cadena conecta a la superestructura con la subestructura 	<ul style="list-style-type: none"> - No hay suficiente espacio entre la ménsula y el tope de la subestructura - Cuando se emplea una extensión de la estructura se requiere de refuerzo en los finales de la viga transversal. - La construcción y el mantenimiento es fácil en 3 tipos de estructuras para conexión de la superestructura y la subestructura - Este tipo de estructura puede ser aplicada a cualquier tipo de puente - Si se necesita cadena se requiere que este recubierta por hule
Puente de Concreto	Se hace una extensión de la estructura la cual es hecha con concreto en sitio 	<ul style="list-style-type: none"> -Este tipo de estructura es barata y fácil de construir y mantener - El final del diafragma tiene la capacidad suficiente para resistir la carga e sismo. - Cuando la ménsula de concreto se instala a la viga de concreto se debió haber instalado primero una capa de refuerzo previamente inspeccionada antes de su instalación

Tabla 11.5.10. Tipo de sistema de Prevención de Asiento

Bridge No.	Bridge Name	Type of Bridge	Total Length (m)	Member	Support Condition	Angle (deg)	0.75SE	Unseating Prevention structure	Limiting Excessive displacement	
									Longitudinal	Transversal
2	Rio Aranjues	3 Spans Continuous Truss Bridge	87.782	A1	M	0	0.77	N/A	N/A	Concrete Block(1.0*0.25*0.66) inside of girder
				P1	M	0	-	N/A	N/A	Concrete Block(1.0*0.6*0.75) inside of girder
				P2	F	0	-	N/A	N/A	Concrete Block(1.0*0.6*0.75) inside of girder
				A2	M	0	0.62	N/A	N/A	Concrete Block(1.0*0.35*0.66) inside of girder
3	Rio Abangares	Single Span Truss Bridge	39.319	A1	F	0	0.68	Chain type	N/A	Concrete Block(0.4*1.5*1.65) out side of girder
				P1	M	0	0.68		N/A	Concrete Block(0.4*0.7*2.1) inside of girder
			60.96	P1	M	0	0.76		N/A	
				A2	F	0	0.76		N/A	Concrete Block(0.4*1.5*1.8) out side of girder
7	Rio Azfurado	3 Spans Rigid Frame RC Deck Slab Bridge	31.394	P1		-	-	N/A	N/A	N/A
				P2		-	-	N/A	N/A	N/A
12	Rio Puerto Nuevo	Single Span Non Composite Steel I Beam	21.336	A1	F	5.028	-	Chain type	N/A	Concrete Block(0.6*0.3*1.0) out side of girder
				P1	M	5.028	0.61		N/A	
		Single Span Non Composite Steel I Beam	21.336	P1	M	0	0.61		N/A	
				P2	F	0	-		N/A	
		Single Span Non Composite Steel I Beam	21.336	P2	F	0	-		N/A	Concrete Block(0.9*0.3*2.0) between 2nd and 3rd girder
				P3	M	0	0.61		N/A	
		Single Span Composite Steel I Beam	24.384	P3	M	0	0.62		N/A	
				P4	F	0	-		N/A	
Single Span RC Deck Slab Bridge	15.24	P4	M	0	0.59	Concrete block (1.7*1.0*0.3)*2	N/A			
		A2	F	0	-	N/A	Concrete Block(0.6*0.3*1.0) out side of girder			
16	Rio Nuevo	3 Spans Continuous RC Deck Slab Bridge	55.474	A1	M	0	0.59	Concrete block (1.7*1.0*0.3)*2	Concrete block	Concrete Block(0.9*0.4*0.826) out side of girder
				P1	F	0	-	-	-	N/A
				P2	M(F)	0	-	-	-	N/A
				A2	M	0	0.59	Concrete block (1.7*1.0*0.3)*2	N/A	Concrete Block(0.9*0.4*0.826) out side of girder
17	Rio Chirripo	3 Spans PC Box Girder Bridge	175.8	A1	M	0	0.7	N/A	N/A	Already intalled
				P1	Stopper	0	-	N/A	N/A	N/A
				P2	Stopper	0	-	N/A	N/A	N/A
				A2	M	0	0.7	N/A	N/A	Already intalled
19	Rio Sarapiquí	3 Spans Steel I Beam Gerbaer Bridge	99.56	A1	M(F)	0	0.9	Chain type	N/A	Concrete Block(1.0*0.45*1.6) out side of girder
				P1	M	0	-	N/A	N/A	N/A
				H1	Cont(M)	0	-	-	N/A	-
				H2	Cont(F)	0	-	-	N/A	-
				P2	M	0	-	N/A	N/A	N/A
				A2	F	0	-	Chain type	N/A	Concrete Block(0.9*0.4*0.826) out side of girder
20	Rio Sucio	3 Spans PC Box Girder Bridge	187.25	A1	M	0	0.74	N/A	N/A	Already intalled
				P1	Stoper	0	-	N/A	N/A	-
				P2	H	0	-	N/A	N/A	-
26	Rio Chirripo	6 Spans Continuous Steel I Beam Bridge	399.18	P1	M	0	1	Chain type	N/A	Concrete Block(1.35*0.6*1.47) in side of 1st and 4th girder
				P2	M	0	-	-	N/A	-
				P3	F	0	-	-	N/A	-
				P4	F	0	-	-	N/A	-
				P5	F	0	-	-	N/A	-
				P6	M	0	-	-	N/A	-
		Single Span Non Composite Steel I Beam	15.86	P7	M	0	1	Chain type	N/A	Concrete Block(1.35*0.6*1.47) in side of 1st and 4th girder
				A2	F	0	0.59	Chain type	N/A	Concrete Block(0.3*1.5*0.65) outside of 1st and 4th girder
29	Rio Toress	Single Span PC I Girder Bridge	30	A1	F	0.278	0.64	Concrete block (1.7*1.0*0.3)*2	N/A	Already intalled
				P1	M	0.278	0.64		N/A	
		Single Span PC I Girder Bridge	17	P1	M	0.328	0.59		N/A	
				P2	F	0.328	0.59		N/A	
		Single Span PC I Girder Bridge	17	P2	M	6.186	0.59		N/A	
				A2	F	6.186	0.59		N/A	

3) Estructuras limitadoras de desplazamiento excesivo

El tipo de protuberancia del concreto se seleccionó para la estructura que limita el desplazamiento excesivo en dirección longitudinal y transversal, dado su costo y sus ventajas para el trabajo de construcción con el gozne de concreto para ensanchar la longitud del asiento.

4) Estructuras para Prevención del Asentamiento de la Superestructura

Esta estructura se instaló en el Río Aranjuez (2), Río Abangares (3) y Río Chirripó (26), las cuales tienen soportes altos. El tipo de estructura fue seleccionada por las siguientes razones.

- Es económica
- Es fácil de construir y mantener

El puente No. 3 sobre el Río Aranjuez es de 3 tramos continuos por lo que generalmente no requiere este tipo de estructura en los soportes expansivos de la pila. Sin embargo el puente tiene un peralte variable de la cercha de la losa por lo que si la viga se cae del soporte por un desplazamiento entre la superestructura y la subestructura, la cuerda superior tal vez sufra un daño fatal. Por lo que es preferible instalar esta estructura para todas las subestructuras incluso en la pila P2

5) Refuerzo de los goznes de puentes en Voladizo

El Puente No. 19 sobre el Río Sarapiquí es un puente en voladizo con goznes. Para mejorar el desempeño sísmico las vigas adyacentes se conectan al gozne.

11.6 Subestructura

La subestructura consiste en una viga transversal y la pila. Entre los 10 puentes, existe una apila en forma T en 4 de los puentes, el Puente No.12 sobre el Río Puerto Nuevo, el Puente No.19 sobre el Río Sarapiquí, el Puente No.26 sobre el Río Chirripó, el Puente No.29.

Una viga transversal deberá ser reforzada para soportar el peso muerto y la nueva carga viva (HS20+25%). Por otra parte la pila de refuerzo se deberá de diseñar para soportar la carga muerta y la nueva carga viva (HS20+25%) pero también las cargas sísmicas. La carga sísmica es la más crítica para la pila.

11.6.1 Método para Reforzar la Subestructura

La Tabla 11.6.1 muestra los ejemplos principales del método de reforzamiento para la viga transversal. Los métodos de reforzamiento para las pilas se muestran en la Tabla 11.6.2. YA que algunos de los métodos de reforzamiento incrementan el peso de la subestructura, se deberá de seleccionar un método tomando en consideración los efectos para la influencia sobre la fundación. Los trabajos de reparación se necesitan ejecutar para las partes dañadas de la estructura.

Tabla 11.6.1. Métodos de Reforzamiento para la Viga Transversal

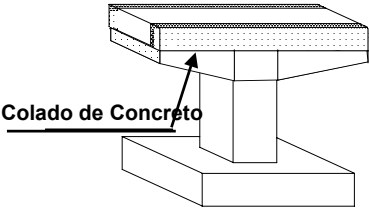
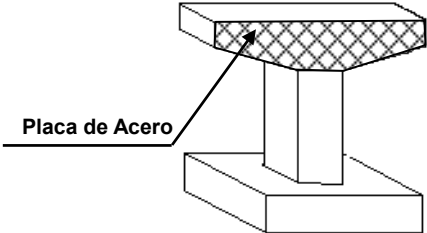
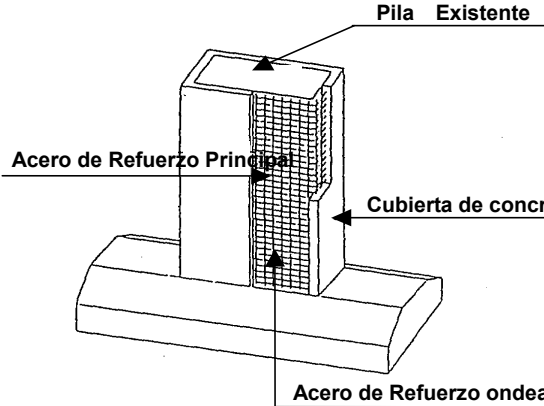
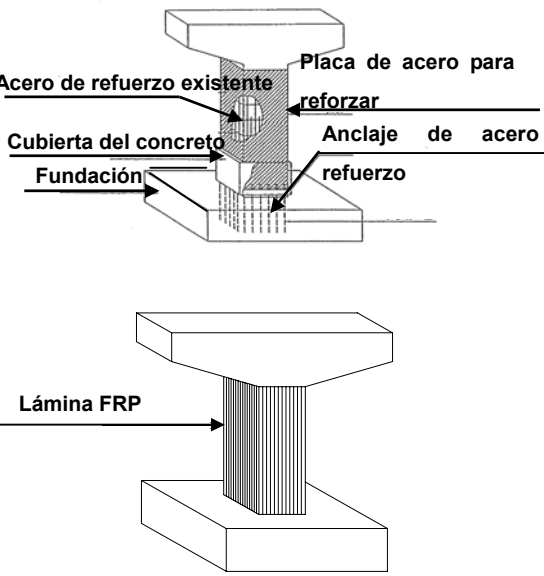
Método de Refuerzo	Figuras	Descripción del Método
<p>Incremento de la Dimensión</p> <p>- Se incrementa la altura y/o ancho del colado del concreto</p>	 <p>Colado de Concreto</p>	<p>Al incrementar la dimensión de la viga para que resista el momento se incrementa la fuerza cortante</p> <p>Se incrementan las cargas muertas de la viga</p> <p>Fácil construcción</p>
<p>Introducir el Preesfuerzo</p> <p>-Se arregla el Acero de PC fuera de la viga transversal.</p>		<p>Al introducir el preesfuerzo en la viga, se incrementa el momento de resistencia.</p> <p>La grieta en el concreto cerrará o disminuirá su ancho.</p> <p>Este método no es efectivo para la resistencia cortante.</p> <p>Se necesita la administración de la ejecución cuidadosa de los trabajos de PC</p>
<p>Reforzar con Material Adicional</p> <p>-Adherencia de la Placa de Acero</p>	 <p>Placa de Acero</p>	<p>Al adherir la placa de acero se incrementa la resistencia cortante.</p> <p>El momento de resistencia no puede incrementar ya que la placa de acero puede adherirse en la parte superior de la viga.</p>

Tabla 11.6.2. Método de Refuerzo para la Pila

Método de Refuerzo	Figuras	Descripción del Método
<p>Incremento de la Dimensión - Cubierta de Concreto</p>	 <p>Este diagrama muestra un pilar rectangular existente con una nueva cubierta de concreto que lo rodea. Se indica el 'Acero de Refuerzo Principal' dentro del núcleo y el 'Acero de Refuerzo ondado' en la nueva cubierta. La 'Fundación' está visible en la base.</p>	<p>Con la cubierta de concreto en el concreto existente se incrementa la rigidez de la pila.</p> <p>Se incrementa la carga muerta de la subestructura</p> <p>Se necesita prestar atención en la sección del río, debido al incremento de la sección.</p> <p>Generalmente es más económico comparado con otros métodos.</p> <p>El mantenimiento es fácil.</p>
<p>Reforzar con Material Adicional -Placa de Acero -Lámina FRP</p>	 <p>Este bloque contiene dos diagramas. El superior muestra un pilar con una 'Placa de acero para reforzar' en la parte superior, 'Acero de refuerzo existente' y 'Anclaje de acero refuerzo' en la base, sobre una 'Fundación'. El inferior muestra un pilar con una 'Lámina FRP' envuelta alrededor de su cuerpo.</p>	<p>Al reforzar la pila existente con material adicional, se incrementan la capacidad de resistencia para el momento y la fuerza cortante</p> <p>de El material adicional se adhiere con mortero que no se encoge o resina epóxica.</p> <p>Después de adherir el material adicional, es difícil inspeccionar las grietas o el deterioro del concreto existente.</p> <p>La lamina FRP es un material inflamable y se puede deteriorar con los rayos ultravioleta o el ozono</p> <p>La lamina FRP se puede dañar por un accidente automovilístico o por piedras.</p>

11.6.2 Selección del Método de Refuerzo para Subestructuras

Los trabajos de refuerzo para la viga transversal y la pila se realizarán en un espacio pequeño debajo de la superestructura. La mayoría de la de las pilas están ubicadas en el río. Por lo tanto, es importante considerar la condición de la construcción, mantenimiento, método estructural y el costo.

1) Viga Transversal

Entre los 10 Puentes, el Puente No. 12 sobre el Río Puerto Nuevo, el Puente No. 19 sobre el Río Sarapiquí, el Puente No. 26 sobre el Río Chirripó y el Puente No. 29 sobre el Río Torres tienen una pila de tipo T. La Tabla 11.6.3 muestra la comparación del método de refuerzo para la viga transversal considerando las condiciones del sitio y la capacidad de carga de la condición existente. El método de incremento de la sección fue seleccionado por las siguientes razones:

- Este es el método más económico
- Su construcción es más fácil que cualquier otro método
- Es posible inspeccionar la condición del concreto después de reforzar
- Más de 4 puentes se pueden reforzar con este método y el tamaño del ancho es el mismo que la longitud del asiento necesario.

Tabla 11.6.3. Comparación del Método de Refuerzo para la Viga

Método		(a) Incremento de la Sección	(b) Introducir el Preesfuerzo	(c) Reforzar con material adicional
Ítem				
Construcción		Fácil	Se necesita una administración de la ejecución cuidadosa para los trabajos de PC	No es tan Fácil (La placa de acero es pesada)
Mantenimiento		Fácil	Fácil	No se puede inspeccionar la condición del concreto ya que la superficie de la placa de acero esta sobre el concreto
Costo		Más barato	Más que (a)	Más que (a)
Periodo		Corto	Más largo que (a)	Más largo que (a)
Característica Estructural	Momento	Aplicable	Aplicable	No es aplicable
	Cortante	Aplicable	No es Aplicable	Aplicable
Protección		No se necesita	No se necesita	Se necesita protección de la corrosión
Evaluación		Aplicable Y es el mejor	No es Aplicable	No es Aplicable

2) Pila

Entre los 10 puentes, los de pila tipo cilindro son el Puente No. 12 sobre el Río Puerto Nuevo (D=1.8m), puente No.20 sobre el Río Sucio (D=5.2m), y el Puente No.29 sobre el Río Torres (D=1.5m). Las pilas de los otros puentes son de pared o de elipse con un espesor longitudinal de 2m.

La Tabla 11.6.4 muestra la comparación del método de refuerzo para la pila en consideración de las condiciones del sitio existentes y la capacidad de carga. El método de cubierta de concreto se seleccionó por las siguientes razones:

- El método más económico es el de cubierta de concreto
- Entre los 10 Puentes, el promedio de bloqueo más alto para el área del río es de 7% en el Río Puerto Nuevo, en otro puente es de alrededor de 5%. A pesar de que el ancho de la pila es de 50cm con la cubierta de concreto, el promedio

de bloqueo es de un 1% a un 2%. Por lo tanto este método no afecta el flujo del río.

- Este método es el mismo que el trabajo de concreto normal, así que su construcción es más fácil que otros métodos.
- Es posible inspeccionar la condición del concreto después del refuerzo.

Tabla 11.6.4. Comparación del Método de Refuerzo para la Pila

Método Item	Cubierta de Concreto	Placa de Acero	Lámina FRP
Construcción	Fácil (Trabajos generales de la estructura de concreto)	No tan fácil (La placa de acero es pesada)	Fácil (material liviano)
Mantenimiento	Fácil (Trabajos generales de la estructura de concreto)	No puede inspeccionar la condición del concreto, ya que la placa de acero tiene una superficie de concreto.	
Costo	Más barato	Alto	Más alto
Periodo	Largo	Medio	Corto
Influencia sobre el flujo del río	Incremento del espesor de 50cm no afecta tanto la corriente del río (el promedio de bloqueo es de 6% a 9%)	Ninguna	Ninguna
Protección	No se necesita	Se necesita protección contra la corrosión	Protección para rayos ultravioleta y ozono Protección para piedras arrastradas por el río
Evaluación	Aplicable y mejor	Aplicable	No aplica

11.6.3 Metodología para Diseño de Refuerzo de Viga y Pila

El método de incremento de la sección se seleccionó para reforzar la viga transversal y la pila. El método de diseño del factor de carga de acuerdo a AASHTO se aplicó al diseño para el refuerzo de la subestructura.

La capacidad de carga para las vigas se puede verificar por composición del promedio de la resistencia a la fuerza trabajando debido a la carga muerta en la dimensión original, y el promedio de la resistencia debido a la fuerza trabajando debido al peso incrementado y a la nueva carga viva (HS20+25%) o la carga sísmica en la sección incrementada.

$$\frac{M_{uo}}{M_o} + \frac{M_{ua} + M_{ue}}{M_m} \leq 1.0 \dots\dots\dots (11.6.1)$$

$$\frac{V_{uo}}{V_o} + \frac{V_{ua} + V_{ue}}{V_m} \leq 1.0 \dots\dots\dots (11.6.2)$$

$$\frac{N_{uo}}{N_o} + \frac{N_{ua} + N_{ue}}{N_m} \leq 1.0 \dots\dots\dots (11.6.3)$$

Donde:

:

Muo (Vuo,Nuo)	:	Momento Flexionante (Fuerza Cortante, Fuerza Axial) causado por la carga muerta original
Mua (Vua,Nua)	:	Momento Flexionante (Fuerza Cortante, Fuerza Axial) causado por carga muerta adicional
Mue (Vue,Nue)	:	Momento Flexionante (Fuerza Cortante,) causado por cargas de sismo o nuevas cargas vivas
ϕMo ($\phi Vo, \phi No$)	:	Momento Resistente de Diseño (fuerza cortante) para sección original
ϕMm ($\phi Vm, \phi Nm$)	:	Momento Resistente de Diseño (fuerza cortante) para sección modificada (Sección Original + Sección Reforzada)

11.6.4 Condición Existente y Condición después del Refuerzo

1) Viga Transversal

El puente No. 12 sobre el Río Puerto Nuevo, el puente No. 19 sobre el Río Sarapiquí, el puente No. 26 sobre el Río Chirripó y el Puente No. 29 sobre el Río Torres tienen una viga transversal. La Tabla 11.6.5 muestran los resultados de la verificación de la capacidad de carga para carga viva incrementada (HS20+25%). Tres de los 4 puentes, excepto el puente sobre el Río Sarapiquí necesitan reforzar la viga transversal para la carga viva incrementada.

Para el Puente sobre el Río Puerto Nuevo y el Puente Torres, la capacidad de carga para el momento de flexión es crítica, y estos puentes necesitan ensanchar la viga para mantener la longitud del asiento de la viga en el apoyo. Por otra parte, la fuerza cortante es crítica en el Puente Chirripó, se puede reforzar al incrementar el ancho de la viga con el stirup (tamaño del acero de refuerzo #6, 14 cm).

La Tabla 11.6.6 muestra las condiciones después del refuerzo por el método de incremento de la sección

Tabla 11.6.5. Capacidad de Carga de la Viga Cabezal

Bridge Name	Member	Original Condition														
		Size		Dead		Unseat Prevention		Live Load		Dead+Live		ϕMo	ϕVo	$\phi Mo/Muo$	$\phi Vo/Vuo$	
		B	H	Mud	Vud	Mud'	Vud'	MuL	VuL	Muo	Vuo					
12	Río Puerto Nuevo	P2	91.44	182.88	78.72	58.31	24.921	18.733	162.95	80.05	266.59	157.09	464.8	239.5	1.74	1.52
		P3	91.44	182.88	83.16	61.56	24.921	18.733	357.18	80.82	465.26	161.11	464.8	239.6	1.00	1.49
		P4	91.44	182.88	87.24	64.55	24.921	18.733	346.12	78.32	458.28	161.60	464.8	239.6	1.01	1.48
		P4(G1)	91.44	122.00	31.05	24.08	0	0	96.96	39.16	128.01	63.24	282.5	150.4	2.21	2.38
19	Río Sarapiquí	P1	90.00	180.00	229.63	189.19	0	0	198.13	97.84	427.76	287.03	481.8	216.2	1.13	0.75
		P2	90.00	180.00	229.63	189.19	0	0	198.13	97.84	427.76	287.03	481.8	216.2	1.13	0.75
26	Río Chirripó	P3	150.00	244.00	217.02	126.07	0	0	343.17	144.14	560.19	270.21	825.3	285.5	1.47	1.06
		P4	150.00	244.00	238.64	137.75	0	0	383.00	160.87	621.64	298.62	825.3	285.5	1.33	0.96
29	Río Torres	P1	110.00	220.00	286.00	94.47	59.93	27.52	723.34	160.74	1069.3	282.73	1067.4	435.4	1.00	1.54
		P2	110.00	220.00	182.26	64.01	59.93	27.52	692.75	153.94	934.94	245.47	713.8	237.4	0.76	0.97

Tabla 11.6.6. Capacidad de Carga de la Viga Transversal después del Refuerzo

			Required Size		Additional Section		Evaluation					
							(1) Original Condition		(2) After Reinforce		(1)+(2)	
			B	H	ϕ MA	ϕ VA	Mud/ ϕ Mo	Vuo/ ϕ Vo	MuL/ ϕ MA	VuL/ ϕ VA		
12	Rio Puerto Nuevo	P2	195.44	182.88	638.44	404.46	0.38	0.20	0.55	0.20	0.93	0.40
		P3	195.44	182.88	638.44	404.56	0.42	0.22	0.56	0.20	0.98	0.42
		P4	195.44	182.88	638.44	404.67	0.51	0.27	0.54	0.19	1.05	0.46
26	Rio Chirripo	P4	210.00	244.00	1007.01	688.86	0.49	0.73	0.38	0.23	0.87	0.96
29	Rio Torres	P1	178.00	220.00	1563.54	517.25	0.46	0.33	0.46	0.31	0.92	0.64
		P2	178.00	200.00	1159.68	441.80	0.45	0.37	0.60	0.35	1.04	0.72

2) Pila

Las condiciones existentes de la pila se muestran en la Tabla 11.6.7. De esta tabla, 2 pilas, la pila P2 del puente sobre el Río Aranjues y la pila P1 del puente No. 3 sobre el Río Abangares, no tienen suficiente capacidad de carga contra la carga sísmica. Por lo tanto, estas subestructuras se reforzaron con el método de cubierta de concreto y el ancho de la dirección longitudinal de las pilas se incrementó 50cm (25 cm incrementados de cada lado)

Las condiciones de las pilas después de reforzar se muestran en la Tabla 11.6.8

Tabla 11.6.7(a). Capacidad de Carga de la Pila en su condición existente

Nombre del Puente (No.)	Tipo de Pila	Longitudinal	Transversal	Evaluación
Río Aranjues (No.2)	P2 Pared			No está bien
Río Abangares (No.3)	A1 Marco Rígido			OK
	P1 Pared			No está bien
	A2 Marco Rígido			OK
Río Azufrado (No.7)	P1 P2 Pared			OK

Tabla 11.6.7 (b). Capacidad de Carga de la Pila en su condición existente

Nombre del Punte (No.)	Tipo de Pila	Evaluación		
		Longitudinal	Transversal	
Río Puerto Nuevo (No.12)	A1 Marco Rígido			OK
	P1 To P4 Cilindro		----	OK
	A2 Marco Rígido			OK
Río Nuevo (No.16)	P1 P2 Pared			OK
Río Chirripo (No.17)	P1 P2 Elipse			OK
Río Sarapiquí (No.19)	P1 P2 Elipse			Ok
Río Sucio (No.20)	P1 P2 Cilindro		----	OK

Tabla 11.6.7 (C). Capacidad de Carga de la Pila en su condición existente

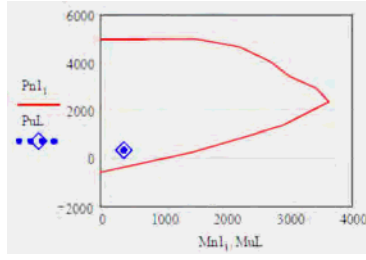
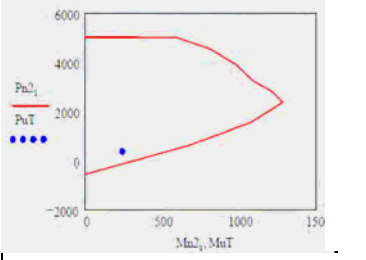
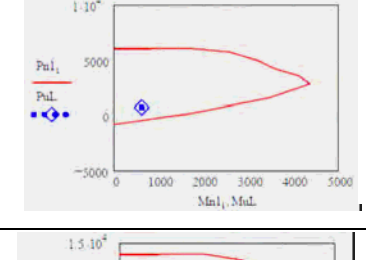
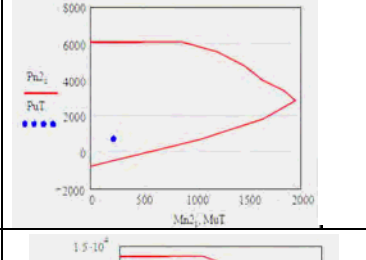
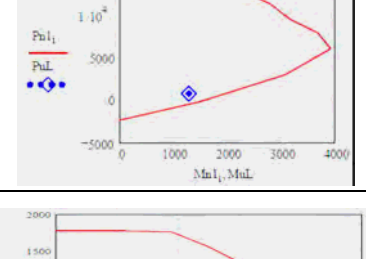
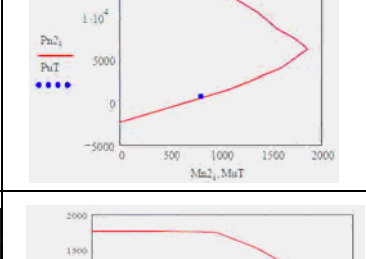
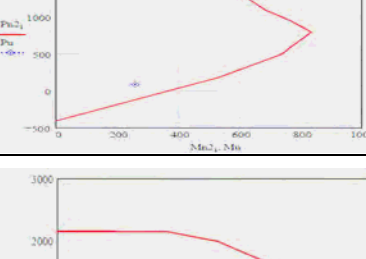
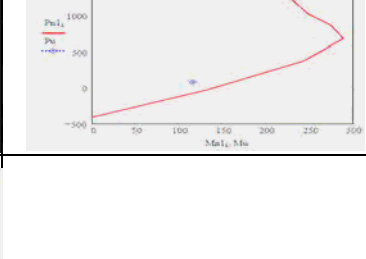
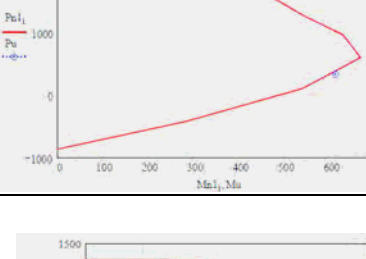
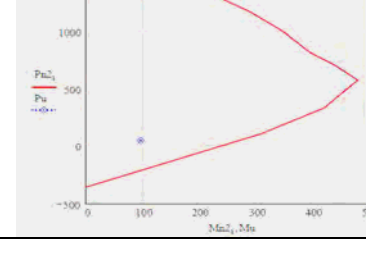
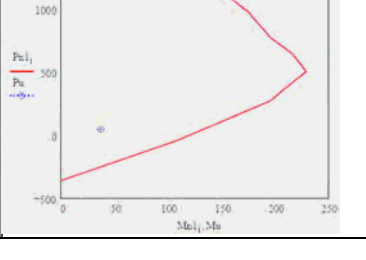
Nombre del Punte (No.)	Tipo de Pila	Evaluación		
		Longitudinal	Transversal	
Río Chirripo (No.26)	P1 P7 Elipse			Ok
	P2 P6 Elipse			Ok
	P3 P4 P5 Elipse			Ok
Río Toress (No.29)	A1 Marco Rígido			Ok
	P1 Cilindro		-----	Ok
	A2 Marco Rígido			Ok

Tabla 11.6.8 . Capacidad de Carga de la pila después de reforzar

Nombre del Punte (No.)		Longitudinal	Transversal
Río Aranjues (No.2)	P2		
Río Abangares (No.3)	P1		