

Capítulo.8 Condición Existente e Inspección del Sitio de los Puentes del Estudio

8.1 Condiciones Existentes de los 29 Puentes

Los 29 puentes del estudio comprenden 17 puentes de tipo de viga de concreto y 12 puentes de tipo de viga de acero. De acuerdo a las características estructurales predominantes de los puentes donde se observan los tipos compuestos entre la viga de concreto y la viga de acero, a continuación se resumen los tipos de puentes. Las características generales se indican en la Tabla 8.1.

Tabla 8.1. Características Generales de los Puentes de Estudio

No	Nombre del Puente	Ruta	Tipo de Puente	Tramos (m) & Longitud Total	Año del Diseño	Finalización
1	Río Colorado		Losa Suspendida (1-Tramos) + Concreto Reforzado(4-Tramos)	15+25+108+25+15	204	1968 1974-1978
2	Río Aranjuez		Cercha Continua de Acero (3-Tramos)	24+39+24	88	1944 1955
3	Río Abangares		Cercha Simple de Acero (2-Tramos)	40+60	100	1952 1953
4	Río Piedras		Concreto Reforzado Continuo (3-Tramos)	17+31+1755	55	1952 1959
5	Río Colorado	1	Concreto Reforzado Continuo (4-Tramos) + Arco de Concreto Simple (1-Tramo)	5+6+30+6+5	52	1955 1954
6	Río Ahogados		Cercha Simple de Acero (1-Tramos) + Cercha Continua de Acero (2-Tramos)	61+2*15	92	1951 1955
7	Río Azufrado		Marco Rígido de Concreto Reforzado (3-Tramos)	6+20+6	31	1953
8	Río Tempisque		Viga tipo I de Acero simple (3-Tramos)	22+27+22	71	1952 1955
9	Río Volcán		Concreto Reforzado Simple (2-Tramos) + Cercha de Acero Simple (1-Tramo)	18+46+12	77	1957 1961
10	Río Ceibo		Viga tipo I de Acero simple (5-Tramos)	25+3*31+15	132	1958 1961
11	Río Curré		Viga tipo I de Acero simple (4-Tramos)	22+31+31+22	105	1958 1961
12	Río Puerto Nuevo		Viga tipo I de Acero simple (5-Tramos)	21+2*22+25+15	105	1958 1961
13	Río Zapote	2	Concreto Reforzado Continuo (3-Tramos)	17+21+17	55	1957 1961
14	Río Terraba		Viga simple de Acero tipo I (4-Tramos) + Cercha de Acero Simple (3-Tramos)	4*27+3*76	341	1956 1960
15	Río Caracol		Viga tipo I de Acero continuo(3-Tramos)	22+28+22	71	1957 1961
16	Río Nuevo		Concreto Reforzado Continuo (3-Tramos)	17+21+17	55	1957 1961
17	Río Chirripó		Cajón de PC Continuo (3-Tramos)	46+83+46	176	1975 1978
18	Río San José	4	Tipo I de PC conectado (2-Tramos)	20+20	41	1974 1978
19	Río Sarapiquí		Gerber Tipo I de acero (3-Tramos)	22+55+22	98	1970 1978
20	Río Sucio		Cajón de PC Continuo (3-Tramos)	55+102+30	173	
21	Río Toro Amarillo		Cajón de PC Continuo (4-Tramos)	47+2*83+47	260	1975
22	Río Parismina		Tipo I de PC simple (3-Tramos)	35+35+35	106	1974
23	Río Reventazón		Cajón de PC continuo (5-Tramos)	47+3*83+47	341	1975
24	Río Pacuare	32	Tipo I de PC simple (10-Tramos)	9*33+17	318	1972
25	Río Barbilla		Tipo I de PC conectado (3-Tramos)	33+33+33	100	1968
26	Río Chirripó		Tipo I de acero simple (2-Tramos) + Tipo I de acero continuo (6-Tramos)	16+59+67+2*73+67+59+16	432	1969 1974-1978
27	Río Cuba		Tipo I de PC simple (3-Tramos)	3*22	69	1968
28	Río Blanco		Tipo I de PC simple (3-Tramos)	17+22+17	29	1967
29	Río Torres	218	Tipo I de PC simple (3-Tramos)	30+2*17	66	1979

8.2 Método de las Inspecciones

Antes de realizar la inspección en el sitio se recolectaron y estudiaron los documentos y datos relevantes, como por ejemplo los inventarios de puentes en el MOPT, planos, historia de las reparaciones, volumen de tráfico, mapa topográfico, información del río para comprender la condición de cada puente.

La inspección del sitio para los puentes del estudio se implementó con base en la inspección visual. Los ingenieros de puentes del MOPT se unieron al equipo de estudio para implementar la inspección para todos los puentes como un tipo de “entrenamiento en el trabajo”, utilizando efectivamente las hojas de inspección.

8.3 Resultados de las Inspecciones

1) Superestructura

Se observa un daño a la losa en los 14 puentes. Especialmente, todos los puentes en la Ruta 1 tienen un daño en las losas, mientras que los puentes en la Ruta 2, los cuales fueron construidos entre 1960 y 1970 lo mismo que los puentes de la Ruta 1 no tienen daños severos en sus losas. Se observó que el volumen de tráfico pesado es una de las razones principales que causan esos daños en la losa como en el caso de la Ruta 1.

Otras partes que se encuentran dañadas de la superestructura además de la losa son los arriostramientos de los puentes de cercha de acero. Se observan daños a los nudos de conexión entre el larguero y la viga transversal, causados en su mayoría por la falta de rigidez de los marcos.

En el caso de los Puentes No.26, 27 y 28 en la Ruta 32, los cuales están ubicados cerca de Puerto Limón, las vigas principales se han movido unos 10 cm. en dirección transversal y los apoyos se rompieron en el terremoto de 1991..

Las deformaciones de las vigas principales se observan en los puentes No. 17 y No. 20 de vigas cajón tipo PC. Se considera que estas deformaciones fueron causados predominantemente por el insuficiente control de calidad durante su construcción.

2) Subestructura

Se observó en casi todos los puentes que el talud alrededor del bastión colapsó. También se observa socavación alrededor de la fundación de las pilas o bastiones. Especialmente, en el caso del puente No. 16, la socavación de las pilas alcanzó un nivel crítico que la fundación de la pila está expuesta más de 2 m por debajo del fondo de los apoyos.

3) Accesorios

Los accesorios tales como las juntas de expansión, las barandas están en alguna medida dañados debido al mantenimiento insuficiente para todos los 29 puentes del estudio.

4) Contramedidas antisísmicas

En Costa Rica no se presta cuidado ni a las contramedidas antisísmicas ni al reforzamiento de la subestructura tales como el agrandamiento de la longitud traslapada de las vigas y el ancho del asiento del puente etc.

5) Carga Viva y Condición de la Losa

Los Puentes en la Ruta 1 y la Ruta 2, que fueron construidos entre 1950 y 1960, se diseñaron con base a HS15-44 de carga viva y los puentes en otras rutas se diseñaron con HS20-44. El Estudio se deberá conducir para examinar la capacidad de carga en contra de HS20-44+25% de carga viva.

Capítulo.9 Selección de los 10 Puentes para la Rehabilitación y Reforzamiento

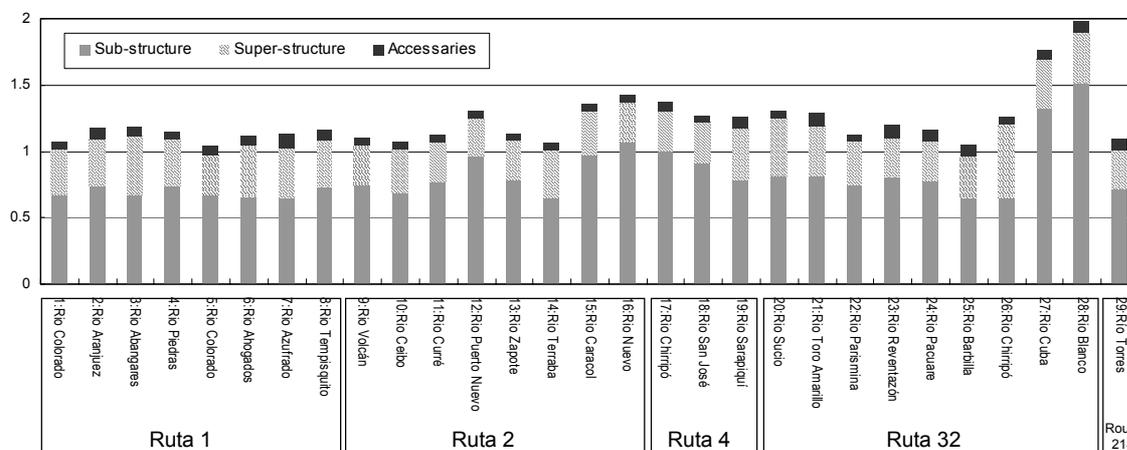
9.1 Método de Evaluación del Daño

Los daños de los puentes fueron inspeccionados visualmente y registrados en las hojas de inspección, lo cual permite indicar de manera precisa el deterioro en cada parte estructural de los puentes.

La selección de los puentes prioritarios para la rehabilitación se procesan y finalizan de acuerdo con la evaluación de la deficiencia comprendida de los puentes cuya criterio de evaluación consiste del grado de deterioro observado, el peso determinado por la importancia funcional como partes estructurales lo mismo que con el peso determinado por el impacto negativo potencial que los daños presentes pueden afectar las partes estructurales del puente.

En este estudio, el Proceso Jerárquico Analítico (PJA), un método de apoyo de decisión se utiliza para la evaluación de la deficiencia del puente.

Bajo la colaboración entre los ingenieros de puentes del MOPT y el equipo de estudio, el peso determinado por la importancia estructural y el peso determinado por el impacto negativo potencial se calcularon a través de un procedimiento con base en la comparación de pares con el PJA y se formula el método de evaluación de la deficiencia de puentes. Los resultados del calculo de la deficiencia para los 29 puentes se resumen en la Figura R.9.1.



Nota) Eje vertical: Deficiencia del Puente, Valor Mayor = Daño más severo (5.0 en Max.)

Figura 9.1. Resultados de la Evaluación de la Deficiencia de Puentes

El estudio excluye los puentes que requieren una reconstrucción que están fuera del alcance del trabajo. El Puente No. 27 y No. 28 no fueron seleccionados ya que sus subestructuras están tan seriamente dañadas que la reconstrucción es más rentable que la rehabilitación en términos de eficiencia de costo.

9.2 Selección de Diez Puentes para el Estudio Detallado

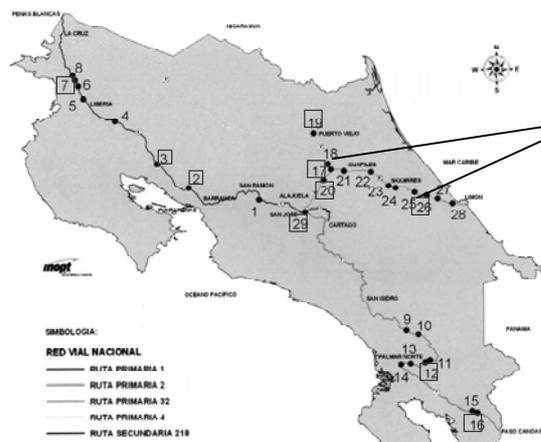
Se deberá seleccionar 10 Puentes para la rehabilitación, el reforzamiento no sólo con base en los resultados de la evaluación de la deficiencia de puentes, pero también otros puntos de vista, que es uno de los propósitos del Estudio, los resultados del estudio deberán ser aplicados de manera extensa y se deberá extender para el mantenimiento de puentes en Costa Rica. A través de una profunda discusión y un examen minucioso junto con los ingenieros de puentes del MOPT, la selección se hizo particularmente prestando atención en los siguientes criterios.

- Diferentes tipos de rehabilitación o Métodos de reparación
- Daños típicos en puentes en Costa Rica.
- Ubicados en una carretera de gran importancia.
- Tipos Estructurales diferentes del Puente.
- Alta prioridad para requerimiento de reparación

Los 10 Puentes Seleccionados se muestran en la Tabla R.9.1 y la Figura R.9.2.

Tabla 9.1. 10 Puentes Seleccionados

Punto de Vista para la Selección	Código del Puente & Nombre	Rango de Deficiencia	Ruta
Superestructura	2 Río Aranjuez	14	1
Daño de la losa	3 Río Abangares	13	1
Subestructura	16 Río Nuevo	3	2
Socavación	12 Río Puerto Nuevo	6	2
Anti-sísmico Reforzamiento	19 Río Sarapiquí	11	4
	26 Río Chirripo	10	32
	29 Río Torres	24	218
Anormal Deformación de la Viga Principal	17 Río Chirripo	4	4
	20 Río Sucio	7	32
Puente Típico	7 Río Azufrado	19	1



Prueba de Carga de Puentes : No.17, No.26

Figura 9.2. Ubicación de 10 Puentes

Capítulo.10 Plan para la Rehabilitación, Reforzamiento y mejora de los 10 Puentes Seleccionados

10.1 Lineamiento del Plan de Rehabilitación, Reforzamiento y Mejora

En general, la planificación de la rehabilitación, reforzamiento y mejora para los puentes lo mismo que su diseño se conducen de acuerdo con los resultados de la inspección detallada. En este caso particular del estudio, ya que se necesita verificar completamente y asegurarse que las capacidades de carga satisfagan el HS20-44+25% y que sea resistente a los terremotos al satisfacer los códigos antisísmicos locales; para verificar las fuerzas seccionales o los esfuerzos de cada miembro se aplicó un análisis estructural con modelos estructurales computarizados y así poder determinar la necesidad al mismo tiempo que las condiciones específicas para reforzar. Por lo que, el plan para la rehabilitación, el refuerzo tiene que ser formulado a través de una evaluación de los resultados del diseño detallado y el análisis estructural.

10.2 Clasificación y Causas Predominantes de la Deficiencia y el Deterioro

La Tabla R.10.1 muestra la clasificación de los ejemplos predominantes de la deficiencia y el deterioro de los miembros del concreto y el acero y el daño debido a un desastre natural con fotografías y una descripción del fenómeno.

Tabla .10.1. Clasificación del Deterioro

1) Miembros del Concreto

Clasificación	Fotografía	Descripción del Fenómeno
Grieta		<ul style="list-style-type: none"> - Deterioro más popular en los miembros del concreto - Las grietas ocurren primero en una dirección y continúa en dos direcciones, un patrón desordenado, descascaramiento y hoyos.
Eflorescencia		<ul style="list-style-type: none"> - Es el resultado de la reacción entre la eflorescencia en el concreto y el agua que se filtra entre las grietas.
Descascaramiento del acero expuesto		<ul style="list-style-type: none"> - La caída de fragmentos de concreto causa peligros a terceros debajo del Puente. - El fenómeno ocurre por razones de faltante en la sección transversal, faltante en la cubierta, daño debido a un exceso de carga viva y a la corrosión del acero de refuerzo.
Hoyo(s)		<ul style="list-style-type: none"> - El fenómeno ocurre principalmente en la losa debido a una sobre carga, una carga repetida o el impacto de una carga viva anormal - Algunas veces, las causas son defectos tales como el faltante del grosor de la losa y otros.

2) Miembro de Acero

Clasificación	Fotografía	Descripción del Fenómeno
Corrosión		<ul style="list-style-type: none"> - LA corrosión es un fenómeno donde toda la superficie del miembro de acero se corroe uniformemente. - Por otra parte, la corrosión total es un fenómeno donde una parte del miembro de acero se corroe bajo malas circunstancias donde el agua drenada, la filtración de agua fluye desde la junta de expansión o a través de las grietas de la losa y el agua no puede correr libremente. - Una corrosión local presenta usualmente un hoyo o un abultamiento.
Daño por Fátiga		<ul style="list-style-type: none"> - El factor de más influencia de la fatiga es la fluctuación y la frecuencia del esfuerzo repetido. En el caso del acero, su esfuerzo se aumenta, la fatiga aumenta, mientras que el esfuerzo de la soldadura no aumenta. - De acuerdo a esto, la ocurrencia de grietas de pequeña escala no conducen el miembro o la estructura a colapsar, además al tomar medidas apropiadas en las etapas tempranas del agrietamiento, permite al miembro o a la estructura asegurar su promedio de seguridad y de prevenirse en contra de condiciones inestables.

3) Daño causado por un desastre natural

Clasificación	Fotografía	Descripción del Fenómeno
Daño causado por un terremoto		<ul style="list-style-type: none"> - Un daño muy posible y peligroso debido a los desastres naturales es el causado por los terremotos. - La superestructura se puede caer debido a la ruptura de los apoyos y a la falta de la longitud del asiento - Las partes de la subestructura y las fundaciones pueden sufrir de daños debido a los terremotos.
Socavación		<ul style="list-style-type: none"> - La socavación es una erosión que es el resultado del flujo del agua que lavan el lecho del río, los asentamientos al mismo tiempo que los alrededores de las pilas y los bastiones del puente. - La socavación comprende "socavación total" en el Puente y "socavación local" únicamente en las subestructuras tales como las pilas y los bastiones.

Además, la Tabla 10.2 muestra las Causas, el Mecanismo y el Fenómeno de Deficiencia/Deterioro.

Tabla .10.2. Causas, Mecanismo y Fenómeno del Deterioro

Excepto Desastres y Falta de Mantenimiento

Causa del Deterioro	Mecanismo del Deterioro	Fenómeno del Deterioro		
		Miembro de Concreto (incluye acero de refuerzo)	Miembro de Acero	
Carbonatación	<ul style="list-style-type: none"> - En la reacción química de CaCO_3 generada por Ca(OH) y el ácido carbónico en la atmósfera, el Ca(OH)_2 en el concreto se consume por lo que el pH mengua para ser neutralizado. - La neutralización no afecta el material de concreto directamente pero afecta la capa de cubierta del acero de refuerzo por lo que este se corroe. 			
Corrosión por sal	<ul style="list-style-type: none"> - El ión de cloruro afecta el acero por lo que se corroe, por lo que luego afecta la expansión del acero y se desarrollan grietas y la separación del concreto. - El miembro del concreto es el que aporta el ión de cloruro que queda restante de la producción y por factores en el ambiente como el viento que sopla del mar. 		Corrosión	
Reacción por agregados alcalinos	<ul style="list-style-type: none"> - El gel de silicón alcalino se desarrolla con Na_2O o K_2O en el concreto y el agregado de reacción y es fácil de expandir con el agua absorbida que luego afecta las grietas. 			
Trabajos con faltas	<ul style="list-style-type: none"> - Los defectos son causados por un mal diseño por la calidad defectuosa de la construcción tales como un faltante en la sección transversal, su cubierta y resistencia y una configuración de los miembros complicada. 		Hoyo	Corrosión
Incremento de carga viva	<ul style="list-style-type: none"> - El 25% de incremento del HS20-44 se aplica para el diseño de la carga viva de puentes en las carreteras nacionales. - Las cargas repetidas y los impactos severos de la carga viva incrementado afecto especialmente de la losa, el sistema de cubierta de acero y la estructura de acero. 			Daño por fátiga

10.3 Inspección Detallada

La inspección detallada se condujo juntamente con los miembros del equipo y los ingenieros de puentes del MOPT con base en los métodos de inspección que se muestran en la Tabla 10.3.

Tabla 10.3. Inspección Detallada

Métodos de Inspección		Elementos de la Estructura		Propósito de la Prueba	Puentes a Inspeccionar
Método de Inspección Visual		Superestructura	Miembro de concreto		10 puentes seleccionados
		Subestructura	Miembro de acero		
		Accesorios			
		Fundación	Socavación		
Método Físico	Prueba de la muestra del núcleo del concreto	Miembro del Concreto		Resistencia del concreto	Azufrado (No.7) Sarapiquí (No.19) Sucio (No.20) 10 puentes seleccionados
	Prueba del martillo Schmidt				
Método Químico	Prueba de Fenolfetaleína			Carbonatación	10 puentes seleccionados
Método Eléctrico	Detección del acero de refuerzo			Posición del acero de refuerzo Grosor de la placa	10 puentes seleccionados
Método de medición ultrasónico	Medición de la placa de acero	Miembro de Acero		Grosor del miembro de acero	Abangares (No.3) Sarapiquí (No.19)

Nota: La muestra del núcleo del concreto de la superestructura y la subestructura en el Azufrado (No.7) como Concreto de Refuerzo, Sucio (No.20) como PC. De la subestructura del Sarapiquí (No.19) como Puente de acero.

La Tabla 10.4 resume los resultados de la inspección visual.

Tabla 10.4 Los Resultados de la Inspección Visual para los 10 Puentes

Miembro	Deficiencia /Deterioro	R1			R2		R4		R32		R218
		2	3	7	12	16	17	19	20	26	29
		ST	RI	SI	RI	PB	SI	PB	SI	PI	
LOsa	Hoyo										
	Grietas en 2 Dirrecciones										
	Grietas en 1 Dirección										
Viga de Acero	Levantamiento/Descascaramiento de la pintura			N/A		N/A	N/A		N/A		N/A
	Corrosión u Oxidación			N/A		N/A	N/A		N/A		N/A
	Grietas/Rompimiento			N/A		N/A	N/A		N/A		N/A
	Deformación			N/A		N/A	N/A		N/A		N/A

Miembro	Deficiencia /Deterioro	R1			R2		R4		R32		R218
		2	3	7	12	16	17	19	20	26	29
		ST		RI	SI	RI	PB	SI	PB	SI	PI
Viga de Concreto	Grieta	N/A	N/A		N/A			N/A		N/A	
	Deformación	N/A	N/A		N/A			N/A		N/A	
Apoyo y Base del Apoyo	Corrosión/Depósito en el suelo										
	Filtración desde la junta de expansión										
	Ruptura del Apoyo										
Juntas de Expansión	Ruptura										
Baranda	Ruptura										
Pavimento	Incremento de la carga muerta por una sobrecapa de 5cm de grosor										
Pila	Daño en la superficie										
	Socavación de la Fundación										
Bastión	Colapso del Talud frontal										

Nota: ST; Puente de cercha de acero, RI; Viga tipo I de concreto reforzado, SI; Viga de acero, PB; Cajón de PC, PI; Viga tipo I de PC

- Las grietas en la losa aparecen en la mayoría de los puentes y se observa un hoyo en el Abangares (No.3).
- Aparecen grietas en la losa del Abangares (No.3), la deficiencia seccional aparece en la viga de acero del Sarapiquí (No.19) causada por la corrosión.
- Aparecen grietas en la viga de concreto y en la losa.
- Las pilas del Sucio (No.20) y del Chirripó (No.17) están dañadas por las piedras. Se da socavación en la fundación de la pila del Puente sobre el Río Nuevo (No.16).

Al realizar la inspección detallada, se verifica la resistencia del concreto a través de la prueba con la muestra del núcleo y la prueba del martillo schmidt y la carbonatación con la prueba de fenolfetaleína. Se inspeccionó la posición del acero de refuerzo y el grosor de la cubierta del concreto para verificar las condiciones construidas en comparación con los planos originales e implementando las muestras del núcleo. Además, el grosor de la placa de acero fue medida para verificar las propiedades de los miembros de acero cuando los planos no estaban disponibles Tabla 10.5.

Tabla 10.5. Los Resultados de la Inspección Detallada con Métodos Físicos, Químicos, Eléctricos y Ultrasónicos

Inspección		R1			R2		R4		R32		R218
		2	3	7	12	16	17	19	20	26	29
Resistencia Del Concreto	Prueba de la muestra del núcleo Puente No. 7 Puente No.19 Puente No.20	Superestructura ; 320 ~ 460 kg/cm ² Subestructura ; 240 ~ 490 kg/cm ² Módulo Elástico ; 4.5 ~ 4.7 x 10 ⁵ kg/cm ²									
	Prueba del martillo schmidt (10 puentes)	Superestructura ; 430 ~ 460 kg/cm ² Subestructura ; 350 ~ 550 kg/cm ²									
Profundidad de la Carbonatación (10 puentes) [cm]		2.6 ~ 6.0			0.1 ~ 1.0		0.1 ~ 1.5		1.4 ~ 4.5		0.4 ~ 1.2
Detección del acero de refuerzo (10 puentes)		Posición del acero de refuerzo que concuerdan con los planos									
Grosor de la placa de acero Puentes No. 3 Puentes No.19		El grosor de la placa fue medido debido a la falta de planos existentes para implementar el análisis estructural.					El grosor de la placa fue medido para verificar el estado real de la deficiencia seccional causada por corrosión.				

Se verificó que la resistencia del concreto y el módulo elástico satisfacen el requerimiento de diseño.

Se observó que los valores más altos de carbonatación aparecen en los puentes en la Ruta 1 y Ruta 32, que es posiblemente causado por el humo expedido por el volumen de tráfico que es relativamente alto. Sin embargo este no se encuentra en un nivel crítico. También se verificó que la posición del acero de refuerzo en las estructuras de concreto son las apropiadas.

10.4 Análisis Estructural

Para verificar la capacidad de carga que satisface el HS20-44+25% de la carga viva y la resistencia sísmica de los códigos locales antisísmicos, el análisis estructural con el programa de computo "SAP2000" se condujo en los 10 puentes seleccionados.

El incremento de la carga viva se basa en HS20-44+25% afecta la superestructura. A pesar que la subestructura que incluye las fundaciones no sea afectada por el incremento, se requiere de los resultados del reforzamiento para mejorar la resistencia sísmica. Los resultados del análisis estructural se resumen en la Tabla R.10.6.

Tabla 10.6. Resultados del Análisis Estructural

Ítems a ser analizados	Miembros	Resultados
Capacidad de Carga Carga viva HS20-44+25%	Losa	<ul style="list-style-type: none"> Los Puentes en la Ruta 1 & 2 exceden el esfuerzo permitido sobre 20 ~ 60%, ya que se aplica HS15 para los puentes diseñados. Los Puentes con HS20 excede el esfuerzo permitido en un 20%.
[Superestructura]	Cercha de acero (No.2, 3)	<ul style="list-style-type: none"> Los miembros verticales exceden el esfuerzo permitido de un 15 ~ 40% en la losa, ya que estos están en la Ruta 1. Los miembros que comprenden el diafragma exceden el esfuerzo permitido en un 15 ~ 40%.
	Viga Tipo I de acero	<ul style="list-style-type: none"> Las vigas con HS15 exceden el esfuerzo permitido en un 30 ~ 50%. El Puente No.19 con un HS20 exceden el esfuerzo permitido en un 45%.
	Viga tipo I de concreto reforzado	<ul style="list-style-type: none"> Las vigas con un HS15 exceden el esfuerzo permitido en un 10 ~ 65%. El esfuerzo compartido en los apoyos excede el esfuerzo permitido en un 20 ~ 50%.
	Viga tipo I de PC	<ul style="list-style-type: none"> Vigas de 30m de largo con un HS20 exceden el esfuerzo permitido en un 20%. El esfuerzo compartido de las vigas más cortas de 17m de largo excede el esfuerzo permitido en un 30%.
	Cajón de PC (No.17, 20)	<ul style="list-style-type: none"> Se da la capacidad requerida.
	[Subestructura]	Viga Cabesal
Resistencia sísmica	Pila	<ul style="list-style-type: none"> El esfuerzo de tensión del acero de refuerzo para las pilas cilíndricas y las pilas de pared exceden el esfuerzo permitido.
[Subestructura]	Bastión	<ul style="list-style-type: none"> La resistencia sísmica es segura.
	Fundación	<ul style="list-style-type: none"> El ancho de las fundaciones es insuficiente para la fundación aislada El ancho de las fundaciones, la calidad del acero de refuerzo y las pilas son insuficiente para la fundación tipo pila.

10.5 Prueba de Carga de Puentes

LA Prueba de Carga de Puentes se condujo en el Puente de viga de concreto (Chirripó No.17 en la Ruta 4) y en el puente de viga de concreto (Chirrido No.20 en la Ruta 32). El resumen de las pruebas se encuentra en la Tabla 10.7.

Tabla 10.7. Resumen de la Prueba de Carga de Puentes

Nombre	Tipo de Puente/Tramo	Ítems de Prueba	Ítems de Medición	Comentarios
No.17 Chirripó	Cajón de PC 46+83+46	Prueba de Carga estática	Deflexión de las vigas	Vagoneta de 25 toneladas 4 unidades
No.20 Chirripó	Viga de acero Viga simple + Viga Continua 16+(59+67+2x73+67+59)	Prueba de carga estática Medición de las frecuencia del esfuerzo (estimado de la fatiga y la vida residual)	Deflexiones Esfuerzo que actúa Esfuerzo que actúa y frecuencia	Vagoneta de 25 toneladas 1 unidad Estudio del Volumen de Tráfico Verificar la interrelación entre el volumen de tráfico real y el esfuerzo - frecuencia

El resultado del valor medido a través de la prueba de carga estática resulto satisfactoria de acuerdo con el valor analizado basado en el modelo estructural.

Se observan deflexiones anormales, que son posiblemente causadas por la deficiencia de los trabajos de construcción en el tramo central del Puente Chirripó (No.17). Los resultados de la prueba de carga estática muestran que no existen problemas estructurales severos en el puente.

Los resultados de la prueba de frecuencia de esfuerzo se resumen brevemente a continuación. En general, La falla por fatiga tiende a ocurrirle a los miembros estructurales y/o a las partes donde la concentración del esfuerzo y la amplitud aparecen. En el estudio, 4 posiciones como las partes conectores con apoyos (Figura 10.1) los miembros diagonales y los miembros laterales son seleccionados para colocar los medidores. La frecuencia del esfuerzo se monitoreo y registro durante 24 horas continuas. LA Tabla 10.2 muestra el volumen de tráfico por hora en el día de la prueba. La pintura blanca en las barras indica el volumen de tráfico pesado (5-ejes) el que causa una gran amplitud del esfuerzo. El volumen de tráfico durante 24 horas resultó en 6,230 vehículos/día y se contaron 1,996 vehículos/día en camiones de 5 ejes.

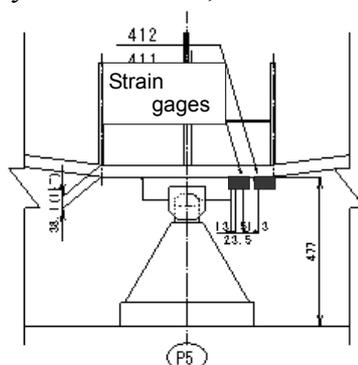


Figura 10.1. Colocación del Strain Gage en la conexión del apoyo

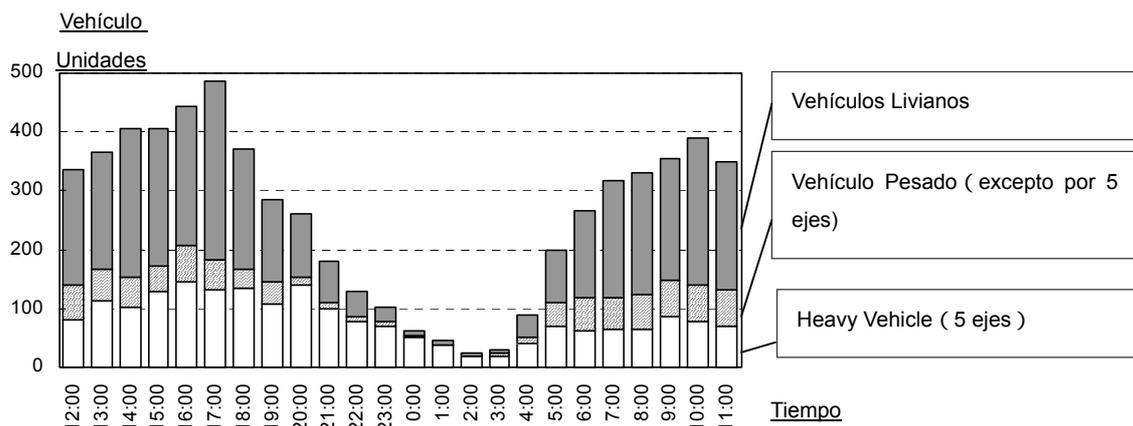


Figura 10.2. Volumen de Tráfico en el Día de la Prueba

Han pasado 28 años desde que se midió la frecuencia de esfuerzo del Puente Chirripó (No.20), Bajo la propuesta de que el volumen de tráfico se mantiene en incremento con la tasa actual de crecimiento, la vida residual en el límite de la fatiga de los miembros medidos es calculada con base en el volumen de tráfico acumulado y la frecuencia del esfuerzo. Además, el tiempo estimado por miembro medido se resume en la Tabla 10.8.

Los resultados muestran que las grietas por fatiga aparecen en la conexión con el apoyo, la cual es la parte más crítica para el año 2030. Resulta que las conexiones con los miembros diagonales poseen una tolerancia considerable. Sin embargo, es esencial mantenerlos monitoreados a través de las inspecciones periódicas, ya que los errores accidentales al medir y/o las suposiciones para los modelos estructurales pueden causar variaciones a los resultados de la prueba.

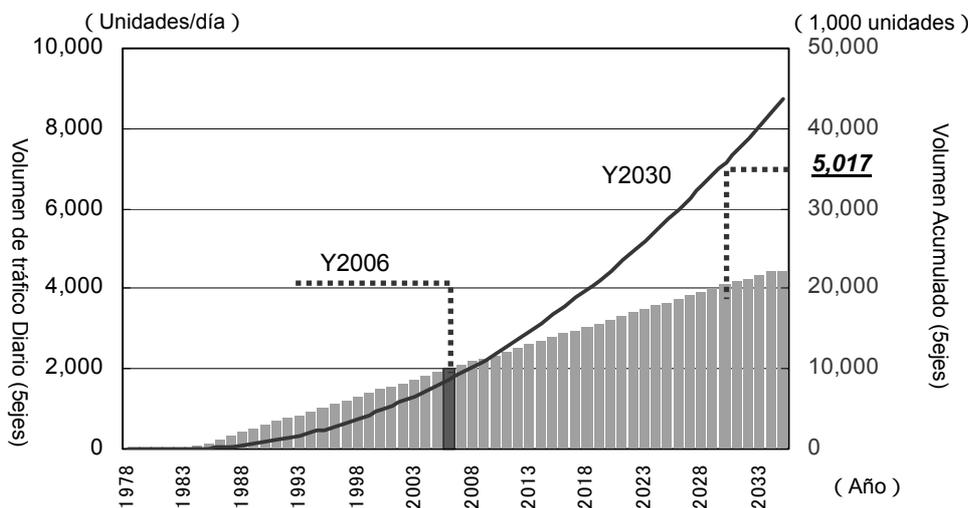


Figura 10.3. Interrelación entre la ocurrencia de la Falla por Fatiga y el Volumen de Tráfico Acumulado

Tabla 10.8. Tiempo Estimado de Ocurrencia de la Falla de Fatiga

Posición/Miembro	Volumen de Tráfico Diario (camiones de 5 ejes) Vp (No.)	Años después de finalizado Yp (año)	Volumen de Tráfico acumulado en la ocurrencia de la falla por fatiga Nf (No.)	Ocurrencia de Falla por fatiga	
				Años después de finalizado Yf (año)	Año
Conexión con apoyos			35 millones	52	2030
Conexión con miembros diagonales 1	1,996	28	107 millones	91	2069
Conexión con miembros diagonales 2			758 millones	241	2219
Conexión con miembros laterales			52 millones	63	2041

Los ingenieros de puentes del MOPT junto con el equipo de estudio trabajaron en la planificación, implementación y evaluación de la prueba. A través de la presentación en el Cuarto Seminario Técnico, el resumen y los resultados de la prueba fueron diseminados a los ingenieros locales por parte de los ingenieros del MOPT.

10.6 Estudio de Condiciones Naturales

El estudio de las condiciones del río para los 29 puentes y el estudio geológico para los 10 puentes seleccionados se realizaron como el estudio de condiciones naturales.

El estudio de las condiciones del río se realizó para poder comprender el río, se investigó para los 29 puentes la erosión, las condiciones del depósito del terraplén del río.

Se condujo el estudio geológico que incluye las excavaciones mecánicas y las pruebas de laboratorio para los 10 puentes seleccionados y se examinaron un total de 21 muestras para poder comprender las condiciones base para asegurar la estabilidad de la fundación.

10.7 Políticas Básicas para la Rehabilitación, Reforzamiento y Mejora de los 10 Puentes

Plan para la Rehabilitación, Reforzamiento y mejora fue elaborado con base en las evaluaciones comprensivas de factores de peso mencionados anteriormente que comprenden el deterioro y la deficiencia que resulta de la inspección detallada, la capacidad de carga de la superestructura resultante del análisis estructural y la resistencia sísmica de la subestructura.

La Política Básica se resume en la Tabla 10.9 por miembros estructurales específicos.

Tabla 10.9. Política Básica del Plan de Rehabilitación, Reforzamiento y Mejora de los 10 Puentes Seleccionados

Miembros		Plan de Política Básica
Losa (Excepto por el Puente de cajón de PC)		<ul style="list-style-type: none"> • Incremento del grosor (lado superior o inferior) adherencia de FRP (lado superior o inferior), adherencia de la placa de acero (lado inferior), reemplazo de la losa (losa prefabricada). Incremento del costo de reparación respectivamente en orden.
Marco de la Cubierta (Cercha)		<ul style="list-style-type: none"> • No.2, 3 reemplazo, añadir y reubicar los marcos.
Marco Principal (Cercha)		<ul style="list-style-type: none"> • Incremento de la sección de los miembros existentes. • Disminución de la fuerza de la sección que actúa por miembros adicionales • reconstrucción de los miembros diagonales para asegurar un espacio de la carretera suficiente.
Viga tipo I de acero		<ul style="list-style-type: none"> • Incremento de la sección de los miembros existentes • Cable PC adicional
Viga tipo I de concreto reforzado		<ul style="list-style-type: none"> • Incremento del alto de la viga • Adherencia FRP y de la placa de acero
Viga tipo I de PC		<ul style="list-style-type: none"> • Adherencia FRP
Pila		<ul style="list-style-type: none"> • Cubierta de concreto
Fundación		<ul style="list-style-type: none"> • Fundación Aislada: Incremento del ancho y/o el grosor. • Fundación de Pilote: Incremento del ancho, grosor y pilas
Accesorios	Junta de Expansión	<ul style="list-style-type: none"> • Reemplazar en todos los puentes
	Baranda	<ul style="list-style-type: none"> • Reparar las parte dañadas, en caso de reemplazar la losa, la baranda deberá igualmente ser reemplazada.
	Pavimento	<ul style="list-style-type: none"> • Sobrecapa de 5cm de grosor después de impermeabilizar para proteger la losa.

Para poder mejorar la resistencia sísmica, se deberá implementar el sistema que previene la caída del puente. La aplicación específica para cada miembro de los puentes seleccionados se describe concretamente en el Capítulo 11.

Capítulo.11 Diseño para la Rehabilitación, Reforzamiento y Mejora de los 10 Puentes Seleccionados

11.1 Análisis del Método para la Rehabilitación, Reforzamiento y Mejora

1) Superestructura

(1) Losa y Sistema de Soporte de la losa

La capacidad de carga de la losa existente es suficiente para la carga viva HA20+25% en todos los siete puentes excepto en los puentes de viga cajón de PC (No.17 Puente Chirripó y el Puente No. 20 sobre el Río Sucio) y el Puente de viga tipo I de PC (Puente No. 29 sobre el Río Torres), por lo que se necesita el reforzamiento de la losa.

La capacidad de carga de la losa no es suficiente, no sólo en el centro del tramo donde ocurre el momento de flexión positivo, pero también en el apoyo de la losa (en la cercha) debido a la falta del grosor de la losa. Los métodos de reforzamiento se limitan a los realizados en la parte superior de la losa del apoyo de la viga. Sin embargo, el método de adherencia del acero en la parte superior de la losa no se puede aplicar debido a un problema de estabilidad de la adición del pavimento asfáltico en la placa de acero.

Con base en las condiciones anteriores, en la Tabla 11.1 se evaluó la aplicación de los métodos de reforzamiento para la losa en cada tipo de puente.

Tabla.11.1. Aplicación del Método de Reforzamiento para la losa para cada tipo de Puente

Métodos	Puente de Acero	Puente tipo I de CR	Puente Tipo I de PC	Características	Costo
Grosor del Concreto Incremento en la parte superior				Hay un gran incremento de la carga muerta, Se puede considerar como la parte efectiva de la viga principal para los puentes de viga tipo I de concreto reforzado.	Bajo
Grosor del Concreto Incremento en la parte inferior	x	x	x	No se puede aplicar para el momento de flexión negativo en el apoyo de la losa.	-
Adherencia FRP en la parte superior y inferior				No se puede incrementar la carga muerta. No aplica para una losa dañada.	Medio
Adherencia de la placa de acero en la parte superior y inferior	x	x	x	Hay un problema debido a la estabilidad de la adición del pavimento asfáltico en la placa de acero.	-
Adición del Larguero (para el sistema de apoyo de la losa del Puente de cercha)				Relativamente fácil de aplicar en puentes de acero. Incremento de la carga muerta para puentes de viga tipo I de concreto reforzado y de viga tipo I de PC.	Medio
Reemplazo de la losa		x		No aplica para los puentes de viga tipo I de concreto reforzado, ya que la losa se construyó junto con las vigas principales (construcción compuesta).	Alto

Los métodos de reforzamiento para la losa se analizaron en cada tipo de Puente, tomando en consideración las condiciones estructurales y las del sitio para cada puente. Los resultados de la selección de los métodos de reforzamiento para la losa se describen a continuación.

Los trabajos de reparación, tales como la inyección de resina en las grietas se realizaran en la

losa existente al mismo tiempo que el reforzamiento, excepto donde se use el método de reemplazo de la losa.

Ya que la capacidad de carga del sistema de apoyo de la losa en dos de los puentes de tipo de cercha de acero (Puentes No. 2 y No. 3) es insuficiente para la cara viva HA20+25%, el método de reforzamiento se selecciono tomando en consideración el reforzamiento de la losa y el sistema de apoyo de la losa al mismo tiempo.

Tabla 11.2. Resultados de la Selección del Método de Reforzamiento para la losa y el sistema de apoyo de la losa en los puentes de cercha de acero

Puentes	No.2 Aranjuez, No.3 Abangares	
Grosor del Concreto Incremento en la parte superior	x	El daño a la losa es muy grande (hoyos, grietas en dos direcciones) y excede el nivel de daño, que puede ser reforzado..
Adherencia FRP en la parte superior y inferior	x	El mismo
Mejora del sistema de apoyo de la losa		Reemplazar y añadir un larguero y refuerzo de la viga transversal, debido a la insuficiencia de la capacidad de carga del sistema de apoyo de la losa para la carga viva.
Reemplazo de la losa		Reemplazo con una losa de Pc prefabricada

Se aplicó el método de adherencia FRP para los puentes de viga tipo I de acero ya que no aumenta la carga muerta, tomando en consideración la capacidad de carga de la viga principal.

Tabla 11.3. Resultados de la Selección del Método de Reforzamiento para la losa Del Puente de viga tipo I de acero

Puente	No.12 Puerto Nuevo. No.19 Sarapiquí, No.26 Chirripo	
Grosor del Concreto Incremento en la parte superior	x	No aplica ya que el incremento de la carga muerta es muy grande y el reforzamiento de la viga es de gran escala.
Adherencia FRP en la parte superior y inferior		Aplica. El incremento de la carga muerta es insignificante y no afecta la viga principal. El nivel del costo de construcción es aceptable.
Añadir Larguero	x	No aplica, ya que los trabajos de reparación en la viga principal son de gran escala.
Reemplazo de la losa	x	No aplica debido al costo tan alto.

El método de incremento del grosor del concreto en la parte superior se seleccionó para los puentes de viga tipo I de concreto reforzado donde se pueden aplicar. Para los puentes donde no se puede aplicar, debido a las condiciones estructurales o del sitio, se aplica el método de adherencia FRP.

Tabla 11.4. Resultados de la Selección del Método de Reforzamiento para la losa del Puente de Viga Tipo I de concreto reforzado

Puente	No.7 Azufrado, No.16 Nuevo		No.12 Puerto Nuevo	
Grosor del Concreto Incremento en la parte superior		Aplica. Es efectivo como reforzamiento de la viga principal	x	No aplica debido a la ocurrencia de la diferencia del alto de la losa con la sección de la viga de acero al lado de esta viga.
Adherencia FRP en la parte superior y inferior	x	No se necesita aplicar. El costo es un poco mayor.		Aplica. El costo es un poco mayor, pero no hay problemas estructurales.
Añadir Larguero	x	No aplica, ya que los trabajos de reparación en la viga principal son de gran escala.	x	No aplica, ya que los trabajos de reparación en la viga principal son de gran escala.

(2) Viga Principal

En la Tabla 11.5. se muestra la aplicación de los métodos de reforzamiento esperados para la viga principal evaluados en cada tipo de puente.

Tabla 11.5. Aplicación de los Métodos de Refuerzo para la Viga Principal en cada tipo de Puente

Método de Refuerzo	Puente de Cercha de acero	Puente de viga tipo I de acero	Puente de viga tipo I de CR	Puente de viga tipo I de PC	Características	Costo
Incremento de la Sección del miembro				x	Se puede reforzar por el momento de flexión, pero no es efectivo para la fuerza cortante en los puentes de viga tipo I de CR	Bajo
Adherencia FRP	x	x			Se puede ignorar el incremento en la carga muerta.	Medio
Adherencia de la placa de acero	x	x			El incremento de la carga muerta es pequeño	Medio
Adición del miembro		x	x	x	Sólo aplica en los puentes de cercha.	Medio
Añadir cable externo					El costo material es alto, pero el trabajo de construcción es relativamente fácil.	Alto

Se analizaron los métodos de reforzamiento para la viga principal en cada tipo de puente tomando en cuenta las características estructurales y las condiciones del sitio. En la Tabla 11.6 se muestran los resultados de la selección de los métodos de reforzamiento para los puentes de cercha de acero.

Tabla 11.6. Resultados de la Selección del Método de Reforzamiento para el Marco Principal del Puente de Cercha de acero

Puente	No.2 Aranjuez (Refiérase a la Tabla R.11.16)		No.3 Abangares (Refiérase a la Tabla R.11.17)	
Marco Principal	La capacidad de carga de la cuerda inferior, el miembro vertical y diagonal cerca de los apoyos intermedios no son suficientes		La capacidad de carga de la cuerda inferior de los 2 puentes de cercha del tramo corto no es suficiente.	
Incremento de la Sección del miembro	x	No aplica. El reforzamiento requerido excede el nivel que puede ser reforzado al incrementar la sección del miembro..		Aplica. Se puede reforzar al reparar con placa de acero a la sección del miembro.
Adición del miembro		Aplica. Al añadir el miembro diagonal de todo el tramo, los esfuerzos de los miembros mencionados anteriormente se pueden reducir dentro del esfuerzo permitido.	x	No se necesita
Añadir cable externo	x	No se puede aplicar debido al tipo estructural	x	No se necesita

Las vigas principales de los dos puentes de viga tipo I de acero (No. 12 y No. 19) serán reforzados con el método de cable externo. Las áreas donde el grosor de la placa de acero ha disminuido debido a la corrosión en la viga principal del Puente No. 16 serán reemplazadas.

Tabla 11.7. Resultado de la Selección del Método de Reforzamiento para la Viga Principal del Puente de Viga tipo I de acero

Puente	No.12 Puerto Nuevo	No.19 Sarapiquí	No.26 Chirripó
Viga Principal	Capacidad de Carga Insuficiente		Capacidad Suficiente
Incremento de la sección del miembro	x	No aplica. El Reforzamiento requerido excede el nivel, el cual puede ser reforzado al incrementar la sección del miembro.	-
Añadir cable externo	ES costoso pero es el único método aplicable		-
Comentarios	-	-El grosor de la placa de acero en algunas partes de la viga principal disminuyen debido a la corrosión. Estas partes serán reparadas al añadir una nueva placa de acero -Para cambiar el articulado del tipo Gerber, la cual es un punto estructural débil en un puente continuo, se reforzará con placa de acero.	-

El método de incremento del grosor del concreto en la parte superior de la losa se ha seleccionado para reforzar la losa de los puentes de viga tipo I de concreto reforzado (No. 7 y No. 16) como se muestra en la Tabla 11.4. La sección de la losa incrementada se puede entender como una parte de la viga principal. Por lo tanto, los métodos de reforzamiento para la viga de estos puentes se analizaron tomando en consideración la sección de la losa incrementada.

Tabla 11.8. Resultados de la Selección del Método de Reforzamiento para la Viga Principal del Puente de Viga tipo I de concreto reforzado

Puente	No.7 Azufrado	No.12 Puerto Nuevo	No.16 Nuevo
Viga Principal	Moemnt o de Flexión	<u>Después de considerar el Incremento de la losa</u> Capacidad Insuficiente - En el centro del tramo medio - Cerca de la pila intermedia	<u>Después de considerar el Incremento de la losa</u> Capacidad Insuficiente En el centro de los tramos laterales
	Fuerza Cortante	Capacidad insuficiente cerca de la pila media	Capacidad insuficiente cerca del final de la viga
Incremento de la Sección del Miembro	Aplica. Aplicar la capacidad para el momento de flexión al incrementar la sección de la viga.	x No aplica, ya que la capacidad aplicada trabaja para el momento de flexión es de gran escala.	x Mismo que el Puerto Nuevo
Adherencia FRP	x No aplica, ya que el número de láminas FRP necesario excede las 10, el cual es el número máximo permitido en el estándar.	x Mismo que el Azufrado	LA capacidad aplicada para el momento de flexión en el centro de los tramos laterales por adherencia FRP en la parte inferior de la viga. LA capacidad aplicada para la fuerza cortante cerca de la pila media por adherencia FRP en ambos lados de la web.

Puente	No.7 Azufrado	No.12 Puerto Nuevo	No.16 Nuevo
Adherencia de la Placa de Acero	Aplica. La capacidad aplicada para el momento de flexión en el centro del tramo medio por adherencia de la placa de acero en la parte inferior de la viga. La capacidad aplicada para la fuerza cortante cerca de la pila intermedia al adherir la placa de acero en ambos lados de la web.	Aplica. La capacidad aplicada para el momento de flexión en la viga por adherencia de la placa de acero en la parte inferior de la viga. La capacidad aplicada para la fuerza cortante cerca ambos finales de la viga al adherir la placa de acero en ambos lados de la web.	× No aplica La adherencia FRP es más fácil para los trabajos que este método.
Añadir Cable externo	× No es necesario	× No es necesario	× No es necesario

El Puente No. 29 de viga tipo I de PC consiste en una viga simple con una longitud de 30m y dos vigas simples con una longitud de 17 m. La viga corta tiene suficiente capacidad de carga para el momento de flexión, pero no para la fuerza cortante. El método de reforzamiento se seleccionó según lo muestra la siguiente Tabla.

Tabla 11.9. Resultados de la Selección del Método de Reforzamiento para la Viga Principal del Puente de Viga tipo I de PC

Puente		No.29 Torres
Viga Principal	Momento de flexión	Capacidad Insuficiente (en el centro de la viga con una longitud de 30 m)
	Fuerza cortante	Capacidad Insuficiente (Cerca de ambos finales de las vigas con una longitud de 30 m y 17 m)
Adherencia FRP		Aplica
Adherencia de placa de acero		× No aplica Se necesitan los pernos de anclaje para la adherencia de la placa de acero. Es imposible hacer hoyos para la seguridad del anclaje, debido a que no se puede confirmar la ubicación de los cables PC en la viga
Añadir cable externo		× No se necesita

2) Subestructura

Se requiere reforzar la viga de la pila debido al incremento de las cargas viva y muerta diseñadas de la superestructura. Se requiere reforzar la columna o la pared de la pila debido al incremento de la carga muerta de la superestructura y la aplicación del diseño antisísmico para algunos puentes.

(1) Viga en la Pila

Las pilas que necesitan refuerzo en la viga son las columnas de tipo pila. La Tabla 11.10 muestra la evaluación de la aplicación de los métodos de refuerzo para las vigas. Como resultado del análisis del método de refuerzo para una capacidad de carga insuficiente para el momento de flexión y el esfuerzo cortante, se puede aplicar en todas las vigas el método de incremento de sección, que es el método más económico.

Tabla 11.10. Resultados de Selección del Método de Refuerzo para la Viga o la pila

Método de Refuerzo	Incremento de la Sección del Miembro	Adherencia FRP	Adherencia de la placa de acero	Introducción del preesfuerzo
Refuerzo para el momento de flexión	Se puede aumentar en ambos lados de la viga (dirección longitudinal del Puente).	Es imposible adherir la placa de acero en la parte superior de la viga debido a la existencia del apoyo o superestructura.	Es imposible adherir la placa de acero en la parte superior debido a las mismas razones de la adherencia FRP.	Introducir preesfuerzo al incrementar la sección en ambos lados de la viga (dirección longitudinal del Puente).
Refuerzo para la Fuerza Cortante	Posible al aumentar la sección en ambos lados de la viga.	ES posible al adherir FRP en ambos lados de la viga.	ES posible al adherir la placa de acero en ambos lados de la viga.	Imposible
Costo	Bajo	Medio	Medio	Alto
Evaluación		x	x	x

3) Columna de la Pila y Pared

En la Tabla 11.11 se evalúa la aplicación de los métodos de refuerzo para la columna de la pila y la pared. El método de cubierta de concreto fue seleccionado debido a su costo y beneficio para mantenimiento.

Tabla 11.11. Resultados de la Selección del Método de Refuerzo para la columna de la viga y pared

Método de Refuerzo	Incremento de la sección del miembro	Adherencia de la placa de acero	Adherencia FRP
Aplicación para las pilas en el Río	Aplicable	La pérdida seccional debido a la corrosión Se requiere para las medidas de anticorrosión	No aplica. Puede ser dañado por rocas arrastradas. ES costoso para reparar el daño.
Disturbio para el área transversal del Río	Poco Disturbio	No hay disturbios	No hay disturbios
Costo	Bajo	Medio	Alto
Evaluación			x

Las pilas de los Puentes No.17 y No.20, tienen suficiente capacidad de carga, pero se encuentran dañadas por las rocas arrastradas en el río. Los trabajos de la protección de la cubierta de concreto serán construidos alrededor de las pilas donde el río afecta la pila.

4) Fundación

El incremento de la carga viva diseñada no afecta la estabilidad de las fundaciones. Sin embargo, las fundaciones de todos los puentes excepto el Puente No. 20 se necesitan reforzar en contra de la carga muerta incrementada de la superestructura y/o subestructura y también en contra de la aplicación de las cargas sísmicas en los estándares de diseño actuales.

(1) Fundación Aislada

La estabilidad inadecuada de las fundaciones y la capacidad de carga de las fundaciones se encontraron en 6 de los 7 puentes que tienen fundaciones aisladas. La estabilidad de la fundación se logró al aumentar el ancho de la fundación en concreto y la capacidad de carga de la fundación se logró al aumentar la profundidad de la fundación.

(2) Fundación de Pilote

La capacidad de carga de las pilas se encontró que era insuficiente en 2 de los 3 puentes que tienen fundación de tipo pilote y no hay una capacidad de carga suficiente de las fundaciones en todos los 3 puentes.

El método de reforzamiento para las fundaciones de pilote con una insuficiente capacidad de carga es el añadir más del mismo tipo de pilas como las existentes. La fundación de pilote del pilote P1 en el Puente No. 19 sobre el Río Sarapiquí será reforzado al incrementar la pila de acero de tipo H y al incrementar la profundidad de la fundación.

En la estructura existente del Puente No. 16 sobre el Río Nuevo, la estructura se repara en la pila P1 para el movimiento longitudinal, si la pila ocupa columnas adicionales para sobreponer la capacidad de carga insuficiente. Sin embargo, el claro debajo de la viga no es suficiente para añadir un pilote, por lo tanto, el punto de reparación se cambia al Bastión A1, donde los trabajos de refuerzo se pueden realizar, como se muestra en la Tabla 11.12

Tabla 11.12. Resultados de la Selección del Método de Refuerzo para la Fundación de Pila del Puente No. 16 sobre el Río Nuevo

Condición de Reparación Longitudinal	Reparación en la pila P1 igual que en la condición existente			Cambio del Puente de Reparación en el Bastión A1	
Propósito	Cambiar la condición de reparación al aumentar la capacidad de carga de la pila P1			Reducir la carga que actúa en la pila P1, la posibilidad de los trabajos de reforzamiento de las fundaciones del Bastión A1.	
Tipo de pila	Pila de Concreto reforzado (la misma que existe)	Pila de acero tipo H	Pila de concreto colado en el sitio	Pila de Concreto reforzado (la misma que existe)	Pila de concreto colado en el sitio
Agrandar la Fundación	Pequeña	Grande	Grande	Grande	Medio
Evaluación	No es posible poner las pilotes debajo las vigas existentes	Se necesita una máquina especial el poner las pilotes debajo de las vigas existentes. Costoso	Se necesita una máquina especial el poner las pilotes debajo de las vigas existentes. Costoso	No se necesita trabajar debajo de las vigas existentes	No se necesita trabajar debajo de las vigas existentes
	x	x	x		Aplicado

Además, todas las fundaciones de los puentes con fundaciones de tipo pilote

5) Sistema de Prevención de Colapso para Puentes

Ya que no hay un sistema de prevención para el colapso de la superestructura durante terremotos en Costa Rica, se han planeado contramedidas para el colapso de puentes en todos los casos y los sistemas de prevención para el colapso de puentes que se aplican se muestran en la Tabla 11.13.

Tabla 11.13. Sistema de Prevención Seleccionado para el Colapso de Puentes

Sistema de Prevención de Colapso para Puentes	Tipo Estructural
Asegurar la Longitud del asiento del puente	Agrandar el asiento de los puentes en los bastiones y las pilas.
Conexión de la viga antisísmico	Conexión con el sistema de cadena entre la superestructura y la subestructura (para puentes de acero)
Limitation System for Girder Movement	Colocar los bloques de concreto para limitar el movimiento de la viga en el bastión y la pila (para puentes de concreto)

6) Pavimento Y accesorios del Puente

(1) Pavimento

La media pulgada en la parte superior de la losa de concreto se considera como el pavimento en la mayoría de los puentes en Costa Rica. Sin embargo, cuando hay una grieta en la losa, el agua penetra en esta y acelera el deterioro de la losa de concreto.

Por lo tanto, se planea que durante el refuerzo de la losa, se debe impermeabilizar la parte superior de la losa y el pavimento asfáltico para prevenir el deterioro.

(2) Accesorios del Puente

Los accesorios del Puente incluyen los apoyos, las juntas de expansión, barandas, etc. Las partes dañadas o deterioradas serán reparadas. Ya que las juntas de expansión afectan especialmente la seguridad y la capacidad de manejo de los vehículos, el efecto de impacto en la losa y el progreso del deterioro del apoyo debido a la filtración de aguas desde la junta de expansión, se planea que todas estas sean reemplazadas por juntas nuevas.

(3) Trabajos de Protección para el Lecho del Río y el Talud

Se harán trabajos de protección del lecho del río con una alfombra de gaviones alrededor de las pilas ubicadas en el río, donde se observa la socavación. Los trabajos de protección del talud de concreto enrocado se realizarán en los taludes donde se observan los colapsos o deslizamientos en frente del bastión.

11.2 Diseño para la Rehabilitación, el Reforzamiento y Mejora de los 10 Puentes Seleccionados

Los métodos de rehabilitación, reforzamiento y mejora para los 10 puentes seleccionados se resumen en la Tabla 11.14. Los resúmenes de los diseños de reparación y reforzamiento para cada Puente se muestran de la Tabla 11.16 a la 11.25.

Tabla 11.14 Resumen de los Métodos de Rehabilitación, Reforzamiento Y Mejora par alas Superestructuras de los 10 Puentes Seleccionados

(Los métodos marcados con una serán aplicados)

Miembro	Método de Reparación y Reforzamiento	R1			R2			R4		R32		R216
		2	3	7	12	16	17	19	20	26	29	
		ST	ST	RI	SI	RI	RI	PB	SI	PB	SI	PI
Losa	Incremento del grosor del concreto en la parte superior											
	Adherencia FRP											
	Reemplazo (Panel PC)											
Sistema de apoyo de la losa y Viga Principal del Puente de acero	Reemplazo de la losa			N/A		N/A	N/A	N/A		N/A		N/A
	Incremento de la sección del miembro			N/A		N/A	N/A	N/A		N/A		N/A
	Añadir miembro			N/A		N/A	N/A	N/A		N/A		N/A
	Reemplazo de la placa de acero			N/A		N/A	N/A	N/A		N/A		N/A
	Añadir cable externo			N/A		N/A	N/A	N/A		N/A		N/A
Viga Principal de Puentes de CR y PC	Añadir Cable Externo	N/A	N/A		N/A				N/A		N/A	
	Adherencia FRP	N/A	N/A		N/A				N/A		N/A	
	Adherencia de Placa de acero	N/A	N/A		N/A				N/A		N/A	
Accesorios del Puente	Reemplazo la Junta de Expansión											
	Reparar Apoyo											
	Reemplazo de la baranda											
Pavimento	Pavimento Asfáltico											
	Impermeabilizar											

Tabla 11.15 Resumen del Método de Rehabilitación, Reforzamiento y Mejora para las Subestructuras de los 10 Puentes seleccionados

(Métodos marcados con serán aplicados)

Miembro	Método de Reparación y Reforzamiento	R1			R2		R4		R32		R216	
		2	3	7	12	16	17	19	20	26	29	
		ST	ST	RI	SI,RI	RI	PB	SI	PB	SI	PI	
Subestructura	Incremento de la sección de la viga											
	Cubierta de concreto											
	Protección de la pila											
Fundación	Agrandar la fundación											
	Añadir Pila	N/A	N/A	N/A	N/A			N/A		N/A		N/A
Sistema de Prevención de colapso para Puentes	Asegurar la longitud del asiento del puente, sistema de limitación para el movimiento de la viga											
	Conexión de la viga antisísmica											
Trabajo de protección	Protección del talud (Enrocado)											
	Protección del lecho del Río (Alfombra de Gaviones)											

Tabla 11.16 Resumen del Diseño de Reparación y Reforzamiento para el Puente No.2 sobre el Río Aranjuez

Nombre del Puente:	Río Aranjuez	Ruta	Ruta de la Carretera Nacional 1
Tipo de Puente:	Puente de 3 Tramos Continuos de Cercha de Acero		
Longitud del Puente:	87.780m	Tramos	24.40 + 39.01 + 24.40 m
	A1Bastión	P1Pila	P2Pila A2Bastión
Tipo de Subestructura	Marco Rígido	Pared	Pared Marco Rígido
Tipo de Fundación	Aislada	Aislada	Aislada
Carga Viva Diseñada:	HS15-S12		
Super estructura	Losa	Reemplazo (Panel de PC Prefabricado)	
	Sistema de apoyo de la losa	Larguero: Reemplazo	Viga Transversal: Incremento de la sección del miembro
	Main Structure	Miembro Diagonal: Miembro Adicional	
Sub-estructura	Asiento del Puente	Sistema de Prevención de Colapso para Puentes: A1,A2	
	Columna	Cubierta de Concreto:P2 (1.66 x 6.71 m 2.16 x 7.21 m)	
Fundación	Fundación	Ensanche, Incremento del Grosor	P1 (3.05 x 7.32 x 1.52 m 5.50 x 9.00 x 1.52m) P2 (4.27 x 7.32 x 1.52 m 11.50 x 13.00 x 2.20m)
Accesorios	Junta de Expansión	Reemplazo: A1, A2	
	Baranda	Reemplazo: Baranda de Acero (Longitud Total)	
Pavimento		Pavimento Asfáltico: t=5cm, Impermeabilización: Losa (Área Total)	
Protección		Protección del Talud: Enrocado (A1) Protección del Lecho del Río: Alfombra del Gavión (A1, P1, P2)	

Tabla 11.17 Resumen del Diseño de Reparación y Reforzamiento para el Puente No.3 sobre el Río Abangares

Nombre del Puente:	Río Abangares	Ruta :	Ruta de la Carretera Nacional 1
Tipo de Puente:	Cercha de Acero Simple x 2 Tramos		
Longitud del Puente::	101.517 m	Tramos:	39.496 + 61.039 m
	A1Bastión	P1Pila	A2Bastión
Tipo de Subestructura	Marco Rígido	Pared	Marco Rígido
Tipo de Fundación	Aislada	Aislada	Aislada
Carga Viva Diseñada:	HS15-S12		
Super estructura	Losa	Reemplazo (Panel de PC Prefabricado)	
	Sistema de apoyo de la losa	Larguero: Reemplazo	Viga Transversal: Incremento de la sección del miembro
	Estructura Principal	Cuerda Inferior: Incremento de la sección del miembro (Placa de cubierta) Arriostramiento Portal: Reemplazar	
Sub estructura	Asiento del Puente	Sistema de Prevención de Colapso del Puente: A1,P2,A2	
	Columna	Cubierta de Concreto: P1 (1.75 x 5.98 m 2.25 x 6.48 m)	
Fundación	Fundación	Ensanchar, Incremento del Grosor:	A1 (4.57 x 2.59 x 0.91 m 7.50 x 4.50 x 0.91 m) P1 (2.74 x 12.50 x 1.22 m 6.50 x 12.50 x 1.50 m) A2 (5.49 x 3.05 x 1.22 m 7.50 x 5.00 x 1.22 mm)
Accesorios	Sistema de Prevención de Colapso para Puentes		Conexión de la Viga antisísmica: Tipo cadena
	Junta de Expansión		Reemplazo: A1,P1, A2
	Baranda		Reemplazo: Baranda de acero (Longitud Total)
Pavimento	Pavimento Asfáltico: t=5cm, Impermeabilidad: Losa (Área Total)		
Protección	Protección del Lecho del Río: Alfombra del Gavión (P1)		

Tabla 11.18 Resumen del Diseño de Reparación y Reforzamiento para el Puente No.7 sobre el Río Azufrado

Nombre del Puente:	Río Azufrado	Ruta	Ruta de la Carretera Nacional 1
Tipo de Puente:	3 Tramos Continuos Marco Rígido Viga tipo I de concreto reforzado		
Longitud del Puente:	31.390 m	Tramos	5.790 + 19.810 + 5.790 m
	P1Pila	P2Pila	
Tipo de Subestructura	Pared	Pared	
Tipo de Fundación	Aislada	Aislada	
Carga Viva Diseñada:	HS15-S12		
Super estructura	Losa	Losa: Incremento del Grosor del Concreto en la parte superior (9cm)	
	Viga Principal	Momento de Flexión :Incremento de la sección del miembro (30cm,cerca de la Pila del centro :5.4m) Adherencia de la Placa de acero (b=40cm, t=9.5mm, Centro del Tramo medio: 7.20m) Fuerza Cortante :Adherencia de la Placa de acero (b=30cm,t=6.4mm, Lado del tramo medio cerca de la Pila 4.90m)	
Sub estructura	Columna	Cubierta de Concreto: P1,P2 (1.67 x 0.48 m x 4 1.83 x 0.98 m x 4)	
Fundación	Fundación	Agrandar, Incremento del grosor:	P1, P2 (1.83 x 8.23 x 0.76 m 5.83 x 8.23 x 1.06 m)
Accesorios	Junta de Expansión	Reemplazo: A1, A2	
Pavimento		Pavimento Asfáltico: t=5cm, Impermeabilizar: Losa (Área Total)	

Tabla 11.19 Resumen del Diseño de Reparación y Reforzamiento para el Puente No.12 sobre el Río Puerto Nuevo

Nombre del Puente:	Río Puerto Nuevo	Ruta	Ruta de la Carretera Nacional2			
Tipo de Puente:	Viga Tipo I de acero simple x 4 Tramos + Viga tipo I de concreto reforzado Simple					
Longitud del Puente:	104.890 m	Tramos: 21.34 x 3 + 24.38 + 15.240 m				
Tipo de Subestructura	A1Bastión	P1Pila	P2Pila	P3Pila	P4Pila	A2Bastión
	Marco Rígido	Columna con Viga	Columna con Viga	Columna con Viga	Columna con Viga	Marco Rígido
Tipo de Fundación	Aislada	Aislada	Aislada	Aislada	Aislada	Aislada
Carga Viva Diseñada:	HS15-S12					
Super estructura	Losa	Adherencia FRP: (Parte Inferior y Superior, 2 capas cada uno)				
	Viga Principal	Viga tipo I de acero	Añadir Cable externo: (70pies Viga; 1500kNx2+ 570kNx2, 80piesViga; 940kNx2 +740kNx2)			
		Viga tipo I de CR	Momento de Flexión: Adherencia de la placa de acero (b=40cm ,t=9.5mm, Centro 11.6m) , Fuerza cortante: Adherencia de la placa de acero (b=40cm, t=6.4mm, Área 4.8m desde el borde)			
Sub estructura	Asiento del Puente	Sistema de Prevención de Colapso para Puentes: A1,P1,P2,P3,P4,A2				
	Viga tipo pilote	Incremento de la Sección de la Viga: P2,P3,P4 (0.91 x 1.83 m 1.96 x 1.83 m)				
Fundación	Fundación	Ensanche, Incremento del Grosor	P1	4.57 x 4.57 x 1.22 m 7.50 x 7.50 x 1.50 m)		
			P2	5.49 x 5.49 x 1.50 m 6.00 x 6.00 x 1.50 m)		
			P3	5.03 x 5.03 x 1.22 m 6.50 x 6.50 x 1.50 m)		
			P4	4.57 x 4.57 x 1.22 m 5.50 x 5.50 x 1.50 m)		
			A2	3.35 x 2.44 x 0.91 m 0.45 x 2.50 x 0.91 m)		
Accesorios	Sistema de Prevención de Colapso del Puente	Conexión de la Viga antisísmica: Tipo cadena (A1, P1, P2, P3, P4, A2)				
	Junta de Expansión	Reemplazo : A1, P1, P2, P3, P4, A2				
Pavimento	Pavimento Asfáltico: t=5cm, Impermeabilizar: Losa (Área Total)					
Protección	Protección del Talud: Enrocado (A1)					
	Protección del Lecho del Río: Alfombra del Gavión (P1)					

Tabla 11.20 Resumen del Diseño de Reparación y Reforzamiento para el Puente No.16 sobre el Río Nuevo

Nombre del Puente:	Río Nuevo	Ruta	Ruta de la Carretera Nacional 2
Tipo de Puente:	3 Tramos Continuos de Viga tipo I de CR		
Longitud del Puente:	55.480 m	Tramos	17.07 + 21.34 + 17.07 m
Tipo de Subestructura	A1Bastión T Invertida	P1Pila Marco Rígido con Pared Interna	P2Pila Marco Rígido con Pared Interna
Tipo de Fundación	Fundación Tipo Pilote (Pila de CR)	Fundación Tipo Pilote (Pila de CR)	Fundación Tipo Pilote (Pila de CR)
Carga Viva Diseñada:	HS15-S12		
Super estructura	Losa Viga Principal	Losa : Incremento del Grosor del Concreto en el lado superior (9cm) Momento de Flexión: Adherencia FRP (b=48cm ,6 capas, Centro de ambos tramos laterales,3.70m) Fuerza Cortante: Adherencia FRP (b=30cm, 1capa, Ambos finales de la viga 4.0m, Ambos lados cerca de la Pila Intermedia 8.50m)	
Sub Estructura	Asiento del Puente Columna	Sistema de Prevención de Colapso para Puentes: A1,A2 Cubierta de Concreto: P2,P3 (Rellenar el área abierta)	
Fundación	Fundación	Ensanche, A1 (1.52 x 9.04 x 0.91 m 6.02 x 9.50 x 1.80 m) Incremento del Grosor P1 (3.67 x 2.74 x 0.91 m x 2No. 4.67 x 8.77 x 1.21 m) P2 (2.74 x 2.74 x 0.91 m x 2No. 4.67 x 8.77 x 1.21 m)	
Accesorios	Pilote Apoyo Junta de Expansión	Añadir Pilote: A1, Pilote de CR colado en sitio (D=1000 mm x 8No.) Reparación : (Cambiar el punto de reparación de P1 a A1) Reemplazo: A1, A2	
Pavimento		Pavimento Asfáltico: t=5cm, Impermeabilización: Losa (Área Total)	
Protección		Protección del Talud: Enrocado (A1,P1&P2, A2) Protección del Lecho del Río: Alfombra del Gavión (A1, P1, P2, A2)	

Tabla 11.21 Resumen del Diseño de Reparación y Reforzamiento para el Puente No.17 sobre el Río Chirripó

Nombre del Puente:	Río Chirripó	Ruta	Ruta de la Carretera Nacional4	
Tipo de Puente:	Puente de 3 Tramos Continuos de Viga Cajón de PC			
Longitud del Puente:	175.800 m	Tramos	46.500 + 82.800 + 46.500 m	
	A1Bastión	P1Pila	P2Pila	A2Bastión
Tipo de Subestructura	Marco Rígido	Pared	Pared	Marco Rígido
Tipo de Fundación	Aislada	Aislada	Aislada	Aislada
Carga Viva Diseñada:	HS-20			

Reemplazar Junta de Expansión

Pavimento Asfáltico Impermeabilizar Losa

175800
82800

46500

Reemplazar Junta de Expansión

Protección de la Pila

Agrandar Fundación

Protección de la Pila

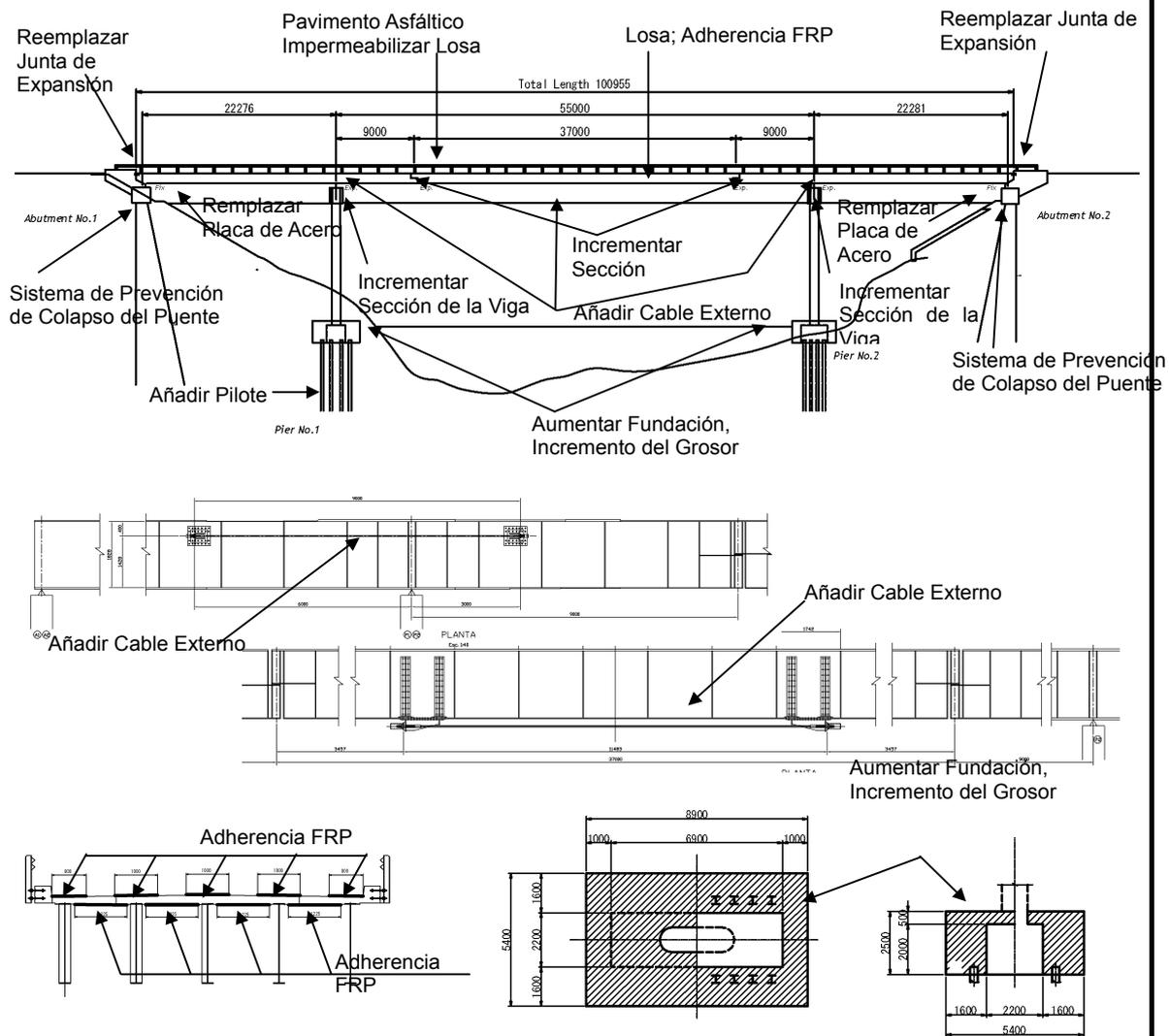
Agrandar Fundación

Protección de la Pila

Super estructura	-	
Sub estructura	Pila Columna	Protección de Concreto: P1,P2 (25cm de grosor, 5m alto del área cerca del lecho del Río)
Fundación	Fundación	Agrandar, Incremento del grosor P1 (9.50 x 10.50 x 2.50 m 11,0 x 11.3 x 2.50 m) P2 (9.50 x 10.50 x 2.50 m 11,0 x 11.3 x 2.50 m)
Accesorios	Junta de Expansión	Reemplazo:A1, A2
Pavimento		Pavimento Asfáltico: t=5cm, Impermeabilizar: Losa (Área Total)

**Tabla 11.22 Resumen del Diseño de Reparación y Reforzamiento para el Puente No.19
 sobre el Río Sarapiquí**

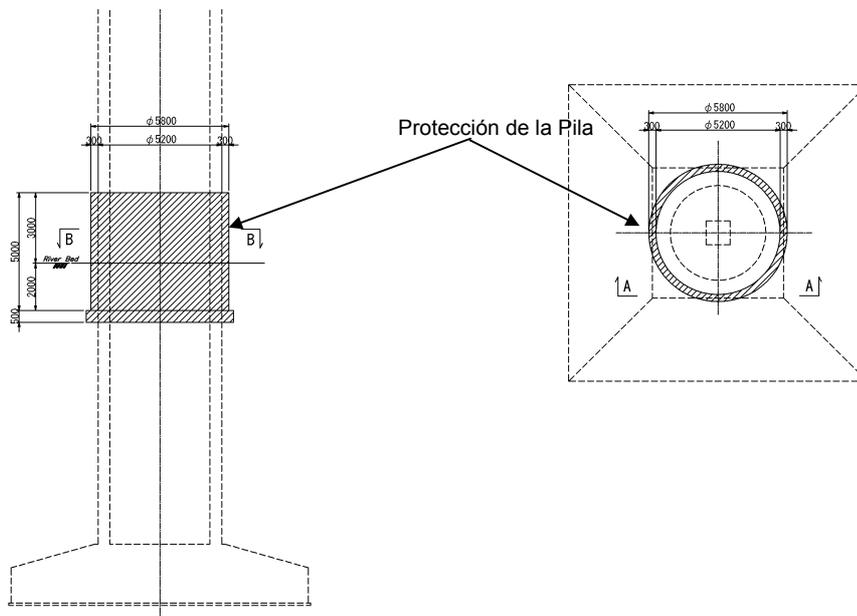
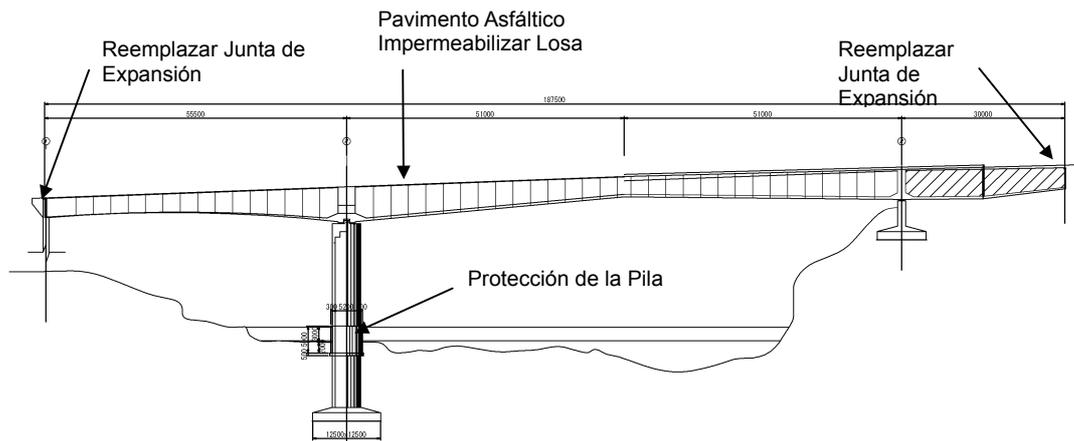
Nombre del Puente:	Río Sarapiquí	Ruta	Ruta de la Carretera Nacional4
Tipo de Puente:	Puente Gerber de 3 Tramos de viga de acero tipo I		
Longitud del Puente:	100.955 m	Tramos:	22.276 + 55.000 22.281 m
	A1Bastión	P1Pila	P2Pila
Tipo de Subestructura	T Invertida	Columna con viga	Columna con viga
Tipo de Fundación	Fundación de Pilote (Acero tipo H)	Fundación de Pilote (Acero tipo H)	Fundación de Pilote (Acero tipo H)
Carga Viva Diseñada:	HS15-S12		



Super estructura	Losa	Adherencia FRP (Lado Superior e Inferior, 2 capas cada uno)	
	Viga Principal	Añadir Cable Externo: Centro del Tramo Medio; 260 kNx5, En las Pilas del Medio; 260kNx10 x 2 puntos	
Sub estructura	Asiento del Puente	Sistema de Prevención de Colapso para Puentes: A1,P1,P2	
	Viga de la Pila	Incremento de la sección: P1,P2 (b=0.9m 1.50m)	
Fundación	Fundación	Agrandar, Incremento del grosor	P1 (2.20 x 6.90 x 2.00 m 5.40 x 8.90 x 2.50 m) P2 (3.05 x 9.80 x 2.00 m 5.05 x 11.80 x 2.50 m)
	Pila	Añadir Pila: P1Pila, Pila de acero tipo H (12BP53 L=13.3mx 16No.)	
Accesorios	Sistema de Prevención de Colapso del Puente	Conexión de Viga antisísmica: Tipo Cadena (200kN, A1,A2)	
	Junta de Expansión	Reemplazo: A1, A2	
Pavimento		Pavimento Asfáltico: t=5cm, Impermeabilizar: Losa (Área Total)	

Tabla 11.23 Resumen del Diseño de Reparación y Reforzamiento para el Puente No.20 sobre el Río Sucio

Nombre del Puente:	Río Sucio	Ruta	Ruta de la Carretera Nacional32
Tipo de Puente:	3 Tramos Continuos de Viga Cajón PC		
Longitud del Puente:	187.500 m	Tramos	55.500 + 102.000 + 30.000 m
	A1 Bastión	P1 Pila	P2 Pila
Tipo de Subestructura	Marco Rígido	Columna	Pared
Tipo de Fundación	Aislada	Aislada	Aislada
Carga Viva Diseñada:	HS-20		



Super estructura	-	
Sub estructura	Pila Columna	Protección del Concreto: P1,P2 (25cm de grosor, 5m alto del área cerca del lecho del río)
Fundación	-	
Accesorios	Junta de Expansión	Reemplazo: A1, A2
Pavimento		Pavimento Asfáltico : t=5cm, Impermeabilizar: Losa (Área Total)

Tabla 11.24 Resumen del Diseño de Reparación y Reforzamiento para el Puente No.26 sobre el Río Chirripó

Nombre del Puente:	Río Chirripó	Ruta	Ruta de la Carretera Nacional32
Tipo de Puente:	6 Tramos Continuos de Viga Tipo I de acero + Viga simple tipo I de acero		
Longitud del Puente:	416.000 m	Tramos	59.5+67.0+73.0x2+67.0+59.5+16.23 m
	P1 Pila	P2 - P7 Pila	A2 Bastión
Tipo de Subestructura	Columna con Viga	Igual	Marco Rígido
Tipo de Fundación	Pile Fundación (Pila de acero tipo H)	Igual	Fundación tipo Pila (Pila de acero tipo H)
Carga Viva Diseñada:	HS20		
Super estructura	Losa	Adherencia FRP (lado inferior y superior, 2 capas cada uno)	
Sub estructura	Asiento del Puente	Sistema de Prevención de Colapso para Puentes: P1,P7 ,A2	
	Viga de la Pila	Incremento de la Sección : P4 (1.50 x 2.40 m 2.10 x 2.40 m)	
Fundación	Fundación	Agrandar,	P1,P7 (2.20 x 7.30 x 1.80 m 4.20 x 9.30 x 2.30 m)
		Incrementa	P2,P6 (2.80 x 7.70 x 2.00 m 4.80 x 9.70 x 2.50 m)
		r Grosor	P3,P4,P5 (5.20 x 8.20 x 2.00 m 7.20 x 10.20 x 2.50 m)
Accesorios	Sistema de Prevención de Colapso del Puente	Conexión de la Viga antisísmica: Cadena (A1, P7, A2)	
	Junta de Expansión	Reemplazo:P1, P7, A2	
Pavimento		Pavimento Asfáltico: t=5cm, Impermeabilizar: Losa (Área Total)	
Protección		Protección del Lecho del Río : Alfombra del Gavión (P2, P3, P4)	

Tabla 11.25 Resumen del Diseño de Reparación y Reforzamiento para el Puente No.29 sobre el Río Torres

Nombre del Puente:	Río Torres	Ruta	Ruta de la Carretera Nacional 216	
Tipo de Puente:	Viga tipo I de PC x 3 Tramos			
Longitud del Puente:	66.456 m	Tramos	30.000 + 17.000m x 2	
	A1 Bastión	P1 Pila	P2 Pila	A2 Bastión
Tipo de Subestructura	Columna con Viga	Columna con Viga	Columna con Viga	Marco Rígido
Tipo de Fundación	Aislada	Aislada	Aislada	Aislada
Carga Viva Diseñada:	HS20			
Super-estructura	Viga Principal	Momento de Flexión: Adherencia FRP 30m viga, centro 13.0m) Fuerza Cortante: Adherencia FRP (30m viga, cerca de ambos finales 5.0m cada uno, 17m viga de una Longitud Total de cerca de 15.0m)		
Sub-estructura	Asiento del Puente	Sistema de Prevención de Colapso para Puentes: A1,P1,P2,A2		
	Viga de la pila	Incremento de la sección : P1, P2 (1.10 x 2.25 m 1.90 x 2.25 m)		
	Pila Columna	Cubierta de Concreto: P1 (D=1.50m 2.00m)		
Fundación	Fundación	Agrandar	A1: (6.00 x 3.50 x 1.00 m	6.50 x 4.00 x 1.00 m)
		Incremento del grosor	P1: (7.50 x 7.50 x 1.10 m	8.00 x 8.00 x 1.10 m)
			A2: (3.50 x 2.00 x 0.90 m	4.50 x 3.00 x 0.90 m)
Accesorios	Junta de Expansión	Reemplazo: A1, P1, P2, A2		
Pavimento	-	Pavimento Asfáltico: t=5cm, Impermeabilizar :Losa (Área Total)		
Protección		Protección del Lecho del Río: Alfombra del Gavión (P1)		

Capítulo.12 Planificación de la Construcción y Estimado del Costo Preliminar

12.1 Planificación de la Construcción

LA ejecución de los trabajos para el proyecto sin necesidad de cerrar completamente el tráfico es crucial al considerar los aspectos sociales y económicos ya que estos puentes se ubican en caminos de camiones importantes en Costa Rica. Por lo tanto, los trabajos de construcción básicos se deberán de ejecutar en un lado del puente para poder asegurar el tráfico de una vía en todo tiempo. Considerando este factor se espera un periodo de construcción extenso.

12.2 Estimado del Costo

El costo estimado para el proyecto consiste de los siguientes ítems mostrados a continuación:

Costo Directo

Costo de Construcción

- Preparación y reubicación de las instalaciones del sitio temporales.
- Control de tráfico en el periodo de construcción
- Costo de ejecución de los trabajos

Transportation cost of equipment & material: 5% of total construction cost

Costo Indirecto

- (a) Costo de Contingencia: 5% del costo directo total
- (b) Costo de Administración: 10% del {costo directo total + (a)}
- (c) Ganancia del Constratista: 10% del {costo directo total + (a) + (b)}

El periodo de construcción estimado y el costo del proyecto se muestran en la Tabla 12.1.

Tabla 12.1. Periodo de Construcción & Costo del proyecto para 10 Puentes

Rt.	No.	Nombre	Período (días)	Costo del proyecto (Dólares)
1	2	Río Aranjuez	120	1,291,000
	3	Río Abangares	140	1,372,000
	7	Río Azufrado	100	432,000
2	12	Río Puerto Nuevo	190	1,371,000
	16	Río Nuevo	140	661,000
4	17	Río Chirripó	80	485,000
	19	Río Sarapiquí	160	1,108,000
32	20	Río Sucio	60	360,000
	26	Río Chirripó	145	3,270,000
218	29	Río Torres	140	557,000
Costo Total				10,907,000

Capítulo.13 Análisis Económico

13.1 El Concepto de Análisis Económico para la Rehabilitación y el Reforzamiento de Puentes

El objetivo del análisis económico incluye temas tales como: 1) consideración del método de análisis económico apropiado para la rehabilitación y el reforzamiento de puentes, 2) prueba de este análisis en los 10 puentes seleccionados, y 3) sistematizar este método para extenderse a otros puentes. Para alcanzar los objetivos mencionados, se ha establecido el concepto de análisis económico:

- Revisar el método de análisis económico para la construcción de la infraestructura especialmente para carreteras y realizar propuestas para el método apropiado de análisis económico para la rehabilitación y el reforzamiento de puentes.
- Considerar que este resultado es posible de usar para los materiales utilizados en la sociedad y los usuarios de las carreteras para comprender la importancia del mantenimiento de puentes. Esto podría ser de ayuda para el proyecto modular 5 dentro del contexto de desarrollo de capacidad.
- Conducir el análisis económico en cuanto beneficio y cuanto costo se estima cuando se implementa la rehabilitación y el refuerzo en cada puente seleccionado.

Durante el periodo de estudio, se han recopilado dos informes de estudio de factibilidad como referencia del parámetro económico.

Con base en el “realizar” y “sin realizar” para la rehabilitación y reforzamiento de puentes, los beneficios y costos de proyecto se mencionan en la siguiente tabla. Los beneficios del proyecto se evalúan como los costos de reducción los cuales son los costos en el caso de “sin realizar”. Note que los costos en el “sin realizar” se estiman bajo el escenario que se da cuando el puente no se rehabilita y refuerza en el futuro.

Tabla 13.1. Conceptos Básicos de Costos y Beneficios

	Realizar	Sin realizar
Escenario	<u>Conducir la rehabilitación y el reforzamiento</u> -> Extender la vida del puente -> Tener habilidad antisísmica	<u>Conducir la rehabilitación y el reforzamiento</u> -> No tener uso cuando el Puente alcance su vida útil -> El Puente se caería en caso de un terremoto
Costo	Costo 1: Costo del Trabajo de rehabilitación y reforzamiento Costo 2: Costo social por el desvío al cerrar el tráfico o el tiempo de espera en la restricción del tráfico	<u>Tipo A: Escenario causado por la Vida del Puente</u> Costo 1: Costo del Trabajo para la reconstrucción Costo 2: Costo Social Costo del Desvío por el cierre del tráfico en el periodo de construcción <u>Tipo B: Escenario causado por el Terremoto</u> Costo 1: Costo del Trabajo para la recuperación y reconstrucción en una emergencia Costo 2: Costo Social Costo del desvío por el cierre del tráfico en el periodo de construcción
Beneficio del Proyecto	Reducción de costos en sin realizar	

De acuerdo a estos conceptos, las características de los costos y los beneficios se muestran a continuación. Esta claro que los beneficios aparecen solo cuando ocurren los eventos dados por la vida del puente y el terremoto. Estos beneficios tienen las siguientes características:

- Los beneficios de la vida del Puente aparecen “una vez” que ocurre el escenario.
- Los beneficios por el terremoto aparecen “cada año” ya que hay una probabilidad de recurrencia del sismo.

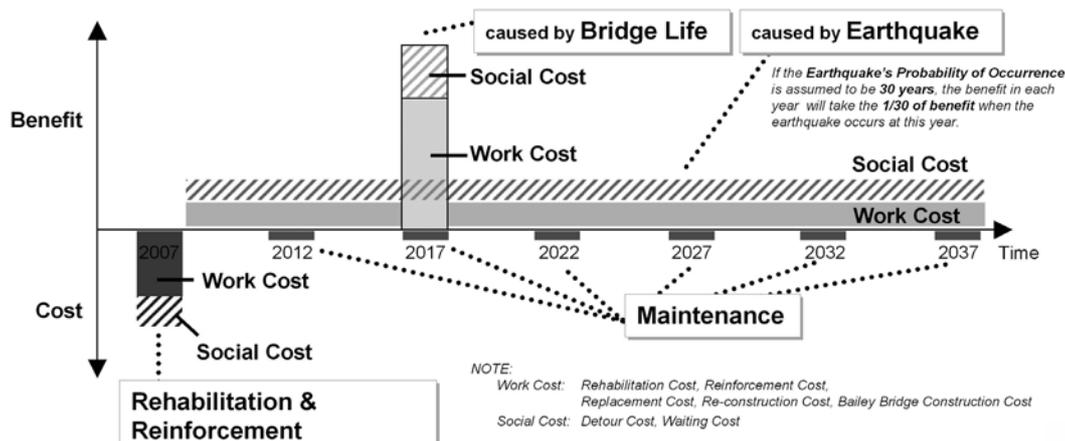
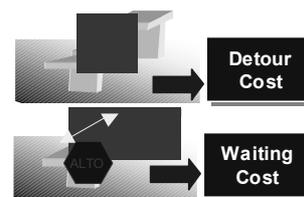


Figura 13.1. Imagen de la Apariencia de los Costos y Beneficios

Este estudio requiere de 30 años para un periodo de evaluación dado su escenario, especialmente el de terremotos, los cuales pueden ocurrir de 30 a 50 años y la mayoría de la vida de los puentes es de 30 años.

13.2 Costos y Beneficios Sociales

Para estimar los costos y beneficios sociales para la rehabilitación y reforzamiento del puente, es necesario que algunos ítems sean incluidos. Este estudio considera los costos sociales como los “costos de desvío” y el “costo de espera” debido al cierre del tráfico y la restricción. El Costo del Desvío aumenta cuando el puente se cae y hay una ruta de desvío. El Costo de Espera aumenta cuando se da la restricción del tráfico para una dirección durante los trabajos de construcción, etc.



Para estimar los Costos y Beneficios sociales del desvío y de la espera, es necesario estimar el volumen de tráfico en el futuro e identificar el valor unitario para VOC & TTC. Ambos han sido investigados por el Departamento de Planificación del MOPT, por lo tanto, después de revisarlos se aplican a este estudio. Note que el valor del tiempo para Bienes (productos) se refiere a un reporte similar del estudio de factibilidad para los proyectos de concesión de carreteras. A continuación se muestran los detalles para cada parámetro tomado para este estudio.

Estimado del volumen de El Equipo de Estudio a recopilado los datos de tráfico histórico del Dept. de Planificación del MOPT. El método de estimado del volumen de tráfico es tomo como “Método de

tráfico	tendencia (Método de Estimado Externo)".
Valor Unitario del VOC & TTC	En el Departamento de Planificación del MOPT se ha investigado el valor unitario de VOC & TTC.
Condición del Desvío	La ruta de desvío se identifica con la red vial existente para cada Puente.
Costo de Espera	El Costo de Espera se calcula por el tiempo de espera promedio, el volumen de tráfico y el valor del tiempo en el caso del tráfico en 1 dirección durante los trabajos de construcción.

Se estima en cada Puente la pérdida social en caso del “cierre del tráfico por un día”. Para los 10 puentes seleccionados, la pérdida social tiene un valor diferente de acuerdo a su condición de desvío y volumen de tráfico. Note que la Ruta 32 tiene las características del peso masa del TTC de 5 ejes que es el valor del tiempo de los productos. Los resultados se muestran a continuación

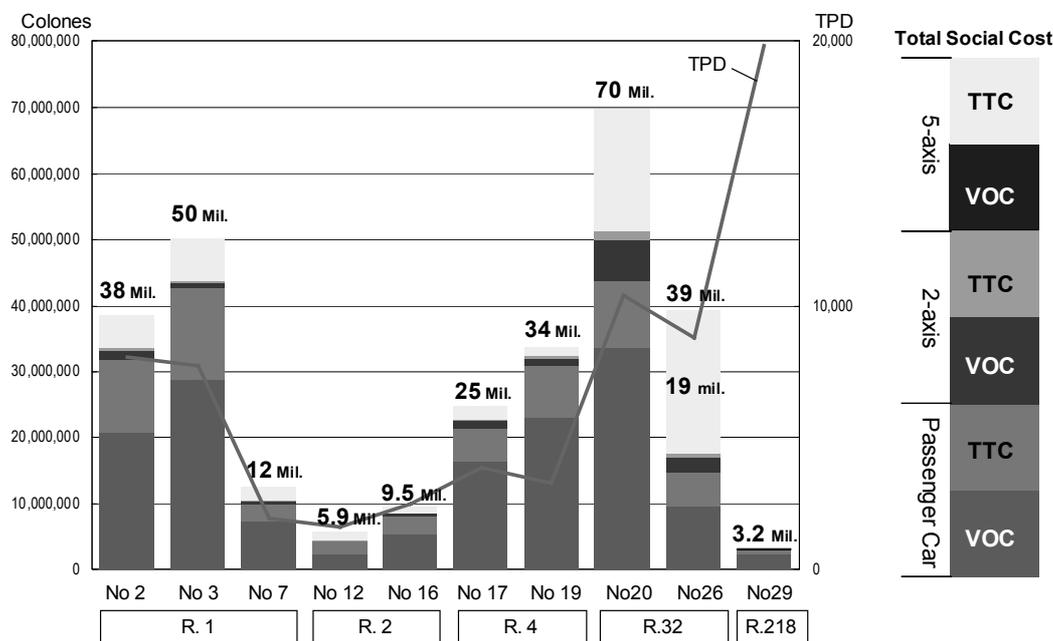


Figura 13.2. Pérdida Social del Cierre del Tráfico por un día en los 10 Puentes

13.3 Ubicación del Escenario

En “sin realizar”, cada puente tiene su propio escenario con falta de servicio. El equipo de estudio decidió cada escenario bajo criterio ingenieril con los resultados de inspección de las condiciones existentes y la edad de los puentes.

El escenario tiene dos etapas, el primer escenario es causado por “la vida del puente”, y el otro es el escenario de “terremoto”. El escenario causado por la “vida del Puente” se refiere a que el Puente no tendrá uso cuando una parte del puente ha alcanzado su vida según corresponda su condición existente de deterioro. Por otra parte en el escenario causado por “terremotos” se asume que el puente se caería de ocurrir un terremoto. Por lo tanto, no es predecible sólo la probabilidad en cada año. Ambos escenarios afectarían el tráfico, ya sea al cerrar el tráfico o al restringir el tráfico en una dirección de acuerdo al daño de los puentes.

La situación de este escenario se puede ver en la siguiente figura:

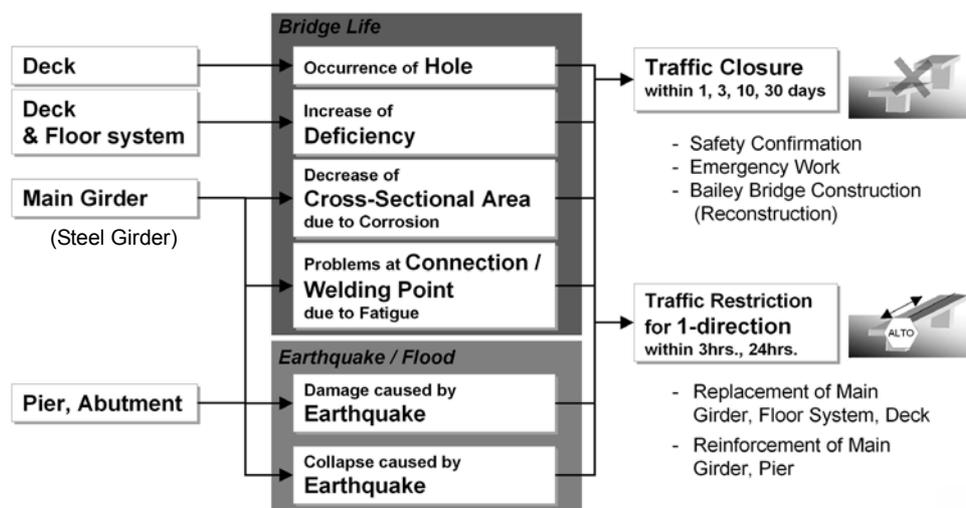


Figura 13.3. Tipos Considerables de Escenario

13.4 Resultados de los Costos y Beneficios Sociales en cada Punte

Cada resultado del beneficio social neto para los 10 Puentes seleccionados se resume en la Figura. El Río Abangares (Puente No. 3) y el Río Chirripó (Puente No. 26) tienen un gran valor de beneficio social para la rehabilitación y reforzamiento entre los puentes. Estos están ubicados en la Ruta 1 y 32, las que son vías importantes para el transporte internacional y no tienen suficiente redundancia para la red vial. De la siguiente sección, la evaluación económica para la rehabilitación y reforzamiento se tratarán usando el costo de trabajo y los beneficios añadidos al costo y beneficios sociales, para encontrar el EIRR y el B/C.

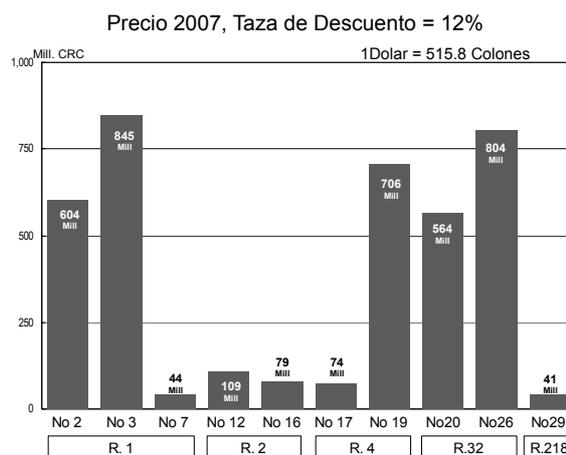


Figura 13.4. Resultados de los Beneficios Sociales Netos

13.5 Costo del Trabajo para cada Punte

El costo del proyecto para la rehabilitación y reforzamiento se ha estimado en el Capítulo 12. En la evaluación económica, el precio se debe de convertir como el costo económico del costo financiero. Para los componentes del proyecto comprado en Costa Rica, no se necesita un factor de conversión, ya que se asume que el mercado es competitivo para estos recursos y también porque no tienen un impacto en la exportación/importación. Para los recursos de intercambio, se usa un factor de conversión estándar de 0.83 de los precios en colones. Todos los impuestos se excluyen de los costos económicos. Ya que el costo del proyecto incluye un 13% de impuesto de venta en este estudio, se multiplica por 0.87 para la reducción de impuestos. Después de la reducción de impuestos, en la siguiente tabla se resumen las suposiciones usadas para la evaluación del costo económico.

Los costos de Operación y Mantenimiento se consideran en “realizar”, y los costos del trabajo tales como recuperación de la emergencia, rehabilitación, reforzamiento, preparación de un puente tipo Bailey y los costos de reconstrucción para cada escenario en “sin realizar” también se estiman como los beneficios de este proyecto.

La tasa de intercambio monetario se usa como “1Dolar =515.8Colones, 1Dolar = 116.91Yen Japonés y 1Yen Japonés = 4.41Colones” estimado con 12.2.2 (1). El colon se toma de la evaluación económica.

13.6 Evaluación Económica

El Resultado de la Taza Interna económica de Regreso (EIRR) para los 10 Puentes seleccionados se muestra en la Figura de la derecha. Se identifican 8 puentes cuyo EIRR tienen más de 20% y son un proyecto factible para la rehabilitación y reforzamiento con el contexto económico nacional. Además de los 2 puentes (El Puente Azufrado (No.7) y el Puente sobre el Río Chirripó (No.12) tienen menos del 20% de EIRR, sería peligroso decir que este puente no tiene un valor para la rehabilitación y reforzamiento ya que se ha calculado el EIRR bajo un conjunto de suposiciones.

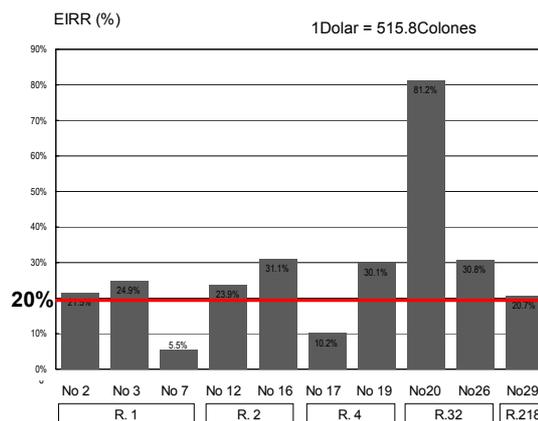
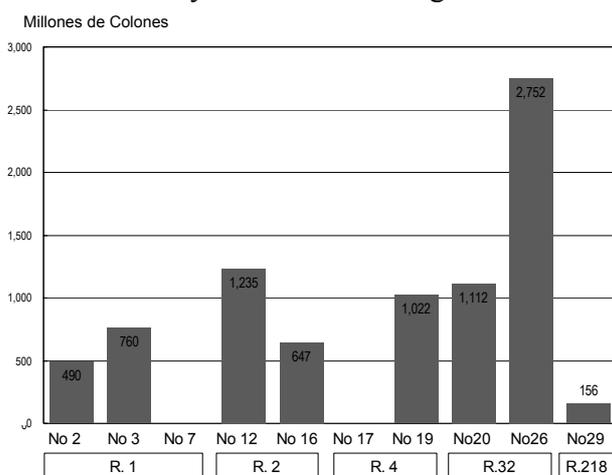


Figura 13.5.
Resultados del EIRR

El Valor Presente Neto (VPN) se calculo para 8 Puentes usando 12% de tasa de descuento, excepto por dos puentes que tienen menos de un 20% de EIRR. Los resultados se muestran en la tabla siguiente. Como resultado del VPN, los valores más altos para el VPN se encuentran en el Río Chirripó (No. 26), Puente Puerto Nuevo (No. 12) y Puente sobre el Río Sucio (No. 20). Estos resultados muestran el orden de importancia y rango de beneficio para la rehabilitación y reforzamiento según la economía nacional.



Rango de Beneficio según el VPN (EIRR>20%)

1. Puente Chirripó	No.26	R.32
2. Puente Puerto Nuevo	No.12	R.2
3. Puente Sucio	No.20	R.32
4. Puente Sarapiquí	No.19	R.4
5. Puente Abangares	No.3	R.1
6. Puente Nuevo	No.16	R.2
7. Puente Aranjuez	No.2	R.1
8. Puente Torres	No.29	R.218

Figura 13.6. Resultados del VPN, Rango de Beneficio para la Rehabilitación y Reforzamiento

El escenario para el Puente sobre el Río Chirripó (No.26) el cual cuenta con el VPN más alto

se muestra en la siguiente Tabla 13.4., la cual muestra los costos y beneficios.

Tabla 13.2. Escenario para el Puente sobre el Río Chirripó (No.26)

Costo	Rehabilitación & Reforzamiento	Losa (Adherencia FRP), Sistema de Prevención (Agrandar el asiento del puente, sistema de conexión), junta de expansión (instalación nueva), Pavimento asfáltico & impermeabilización, pila (incremento de la altura de la viga transversal), fundación (ensanchamiento de la fundación) (Social: 1-dir. Cierre del Tráfico 100días)
	Mantenimiento	Inspección rutinaria (cada 5 años), inspección detallada (cada 10 años) Reparación del sistema de cubiertas (Inyección), sobrecapa de pavimento, reemplazo de la junta de expansión, pavimento asfáltico & impermeabilidad, protección de la pila
Beneficio	Escenario 1	Después de 15 años, no pasa debido al incremento de la deficiencia (Losa) Costo Social: Suspensión del tráfico por 30 días Costo del trabajo: Construcción de un Puente tipo Bailey, Reemplazo de la losa
	Escenario 2	Después de 20 años, hay una falta de área transeccional debido al deterioro de la pintura y la corrosión (Viga Principal) Costo Social: 1-dir. Cierre del tráfico 3hrs. 7días Costo del Trabajo: Reemplazo de la placa de acero
	Escenario 3	Después de 30 años, hay grietas dañadas alrededor de las conexiones causadas por la fatiga (Viga Principal) Costo Social: Suspensión del Tráfico 24hrs. & 1-dir. Cierre del tráfico 3hrs. 7días Costo del Trabajo: Arreglar placa
	Escenario 4	Dentro de 30 años, se caería la viga principal del tramo del lado debido a un terremoto Costo Social: Suspensión del tráfico por 30 días Costo del Trabajo: Construcción de un puente tipo Bailey y reconstrucción

Los resultados del análisis de sensibilidad se muestran a continuación. Muestra que su sensibilidad por el incremento del costo o la reducción del beneficio no es alta, por lo tanto, el cambio del valor del costo es 2.8 veces como la base y el cambio del valor del beneficio es de 0.3 veces como base. El EIRR se reduce de un 30.8% a un 27.0% si los costos y beneficios sociales no son tomados en consideración en esta evaluación. En este contexto, el VPN se reducirá de 2,752 millones de colones a 1,948 millones de colones.

Tabla 13.3. Resultado del Análisis de Sensibilidad para el Puente sobre el Río Chirripó (No.26)

Escenario		EIRR	VPN (millones de colones)	Valor de Cambio
Costo	+10%	28.4%	2,607	Base * 2.8877
	+20%	26.4%	2,461	
Beneficio	-10%	28.2%	2,331	Base * 0.3463
	-20%	25.2%	1,910	

Tabla 13.4. Tabla de Costos/Beneficios para el Puente Chirripó (No.26)

Unidades: Colones, 1Dolar = 515.8Colones

year	Costs				Benefits		Results	
	Work		Social	Total Cost (A)	Work Scenario 1 to 5	Social Scenario 1 to 5	Total Benefit (B)	Net Benefit (B-A)
	Rehabili. & Renf.	Maintenance	Traffic Rest.					
1 2007	1,355,277,221		11,437,992	1,366,715,214				-1,366,715,214
2 2008				0	343,814,571	41,049,885	384,864,456	384,864,456
3 2009				0	343,814,571	42,732,137	386,546,708	386,546,708
4 2010				0	343,814,571	44,414,388	388,228,959	388,228,959
5 2011		31,000		31,000	343,814,571	46,096,640	389,911,211	389,880,211
6 2012				0	343,814,571	47,778,891	391,593,462	391,593,462
7 2013		25,619,012		25,619,012	343,814,571	49,461,142	393,275,713	367,656,701
8 2014				0	343,814,571	51,143,394	394,957,965	394,957,965
9 2015				0	343,814,571	52,825,645	396,640,216	396,640,216
10 2016		168,000		168,000	343,814,571	54,507,897	398,322,468	398,154,468
11 2017				0	343,814,571	56,190,148	400,004,719	400,004,719
12 2018				0	343,814,571	57,872,399	401,686,970	401,686,970
13 2019				0	343,814,571	59,554,651	403,369,222	403,369,222
14 2020		25,619,012		25,619,012	343,814,571	61,236,902	405,051,473	379,432,461
15 2021		283,132,225		283,132,225	3,088,479,607	1,950,493,762	5,038,973,369	4,755,841,145
16 2022				0	343,814,571	64,601,405	408,415,976	408,415,976
17 2023				0	343,814,571	66,283,656	410,098,227	410,098,227
18 2024				0	343,814,571	67,965,908	411,780,479	411,780,479
19 2025				0	343,814,571	69,648,159	413,462,730	413,462,730
20 2026		168,000		168,000	989,167,656	71,331,369	1,060,499,024	1,060,331,024
21 2027		25,619,012		25,619,012	343,814,571	73,012,662	416,827,233	391,208,221
22 2028				0	343,814,571	74,694,913	418,509,484	418,509,484
23 2029				0	343,814,571	76,377,165	420,191,736	420,191,736
24 2030				0	343,814,571	78,059,416	421,873,987	421,873,987
25 2031		31,000		31,000	343,814,571	79,741,668	423,556,238	423,525,238
26 2032				0	343,814,571	81,423,919	425,238,490	425,238,490
27 2033				0	343,814,571	83,106,170	426,920,741	426,920,741
28 2034		25,619,012		25,619,012	343,814,571	84,788,422	428,602,993	402,983,980
29 2035				0	343,814,571	86,470,673	430,285,244	430,285,244
30 2036		283,269,225		283,269,225	348,540,475	167,148,694	515,689,169	232,419,945

EIRR = 30.8%
NPV at 12% = 2,752,424,784 Colones

