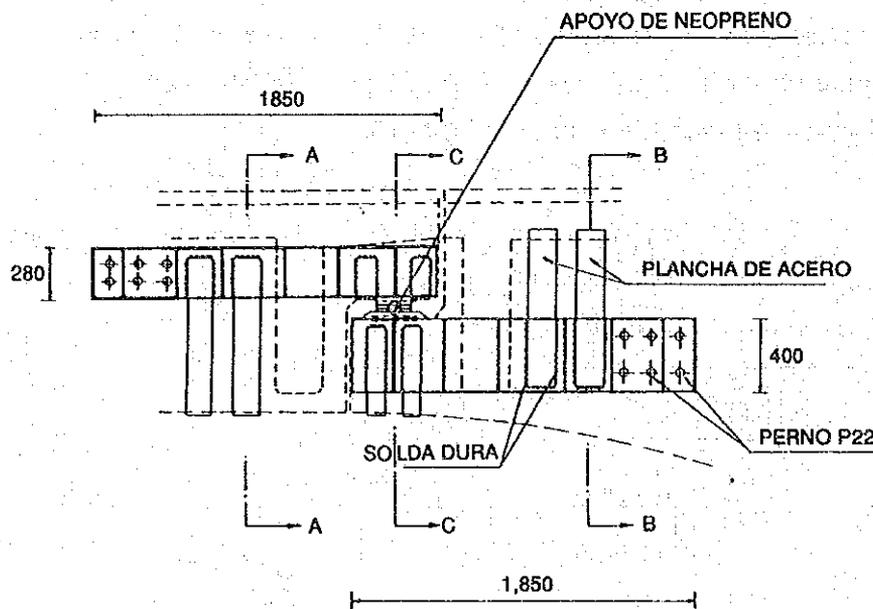
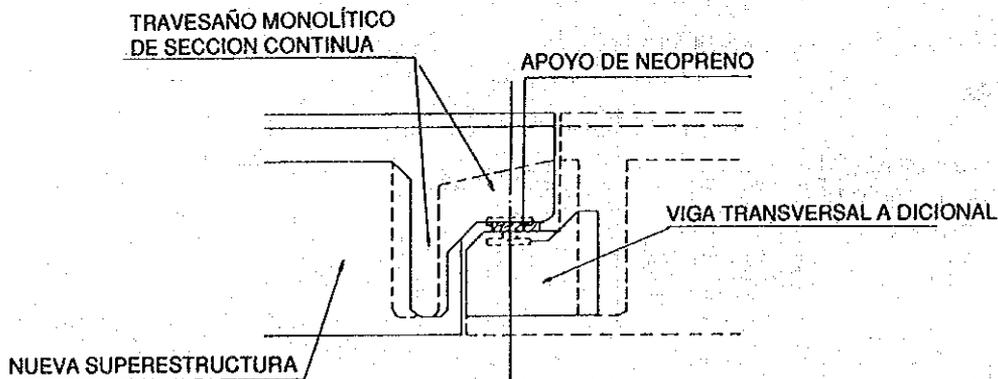


### 8-2-3 Viga Gerber

Una de las características especiales de muchos puentes con vigas de hormigón armado en Chile es la utilización de articulaciones Gerber. Uno de los defectos muy frecuentes en este tipo puentes es la corrosión del dispositivo de apoyo de la articulación Gerber debido a la filtración de aguas desde la superficie por las juntas, y también el corte de la sección transversal de las mensulas de apoyo. En Chile el método de reparación más común es aquel que utiliza principalmente planchas de acero adheridas lateralmente a la viga principal. Al respecto, cabe señalar que se podría utilizar también el método por el cual se agrega una especie de viga travesaño que conecte monolíticamente los apoyos Gerber para reforzar todo el conjunto.



REPARACIÓN CON PLANCHAS DE ACERO



REPARACION MEDIANTE UNA VIGA TRANSVERSAL ADICIONAL

Figura 8-4

### **8-3 Contramedidas de rehabilitación para deformaciones y desplazamientos de la viga principal**

En esta sección se presentan las contramedidas de rehabilitación para el caso en que la viga principal, que es uno de los elementos estructurales más importantes para la capacidad de carga de un puente, esté afectada por deformaciones y desplazamientos.

#### **8-3-1 Ejemplo de rehabilitación de un puente con vigas de acero**

Para la mejorar la capacidad de carga de un puente con vigas de acero puede utilizarse uno de los siguientes métodos de refuerzo:

- (i) Adición de planchas de acero para reforzar las platabandas.
- (ii) Instalación de viguetas o vigas, paralelas a la viga principal, conectadas a la estructura mediante riostras y vigas travesaño, de tal manera que se logre una buena distribución de las cargas entre éstas y las vigas principales originales.

Para la aplicación de éstos métodos de rehabilitación es necesario remover temporalmente la losa, para proceder a la instalación de los refuerzos de las vigas en forma más efectiva. Si no se levantaran las losas, la instalación de los refuerzos en la platabanda superior (especialmente la parte de adhesión) sería muy complicada; y además, no se distribuiría uniformemente la carga muerta (el peso de la losa constituye la parte más importante de la carga muerta).

Observando las características del método de refuerzo descrito en el párrafo (ii), puede considerarse éste como el método más apropiado para ser aplicado en Chile. Hasta ahora en Chile no se ha tomado mucho en cuenta la aplicación de éstas vigas travesaño para la distribución de cargas; o sea, son muy pocos los puentes en los cuales se distribuyen los esfuerzos mediante vigas transversales.

#### **(1) Ejemplo de refuerzo de la viga principal**

**\* Instalación de una viga de refuerzo paralelamente a cada viga principal existente, para distribuir uniformemente las cargas**

Este método permite mejorar la capacidad de carga y al mismo tiempo permite ensanchar la calzada del puente.

El procedimiento es el siguiente:

- 1) Remoción del pavimento y losa existente del puente

- 2) Reubicación de instalaciones pertenecientes a otros organismos públicos (electricidad, telégrafo, teléfono, agua, etc.) previamente, para evitar que interfieran con los trabajos.
- 3) Instalación de la viga de refuerzo (nueva viga) asegurando apropiadamente con abrazaderas evitando que ésta gire. (puede asegurarse a la viga existente)
- 4) Unión firme a la estructura, puede usarse soldadura in situ provisional
- 5) Remoción de las abrazaderas para dejar que la viga de refuerzo adquiera la flecha debido a la acción de su propio peso, instalación y afirmación del diafragma.
- 6) Reconstrucción del piso, losa.

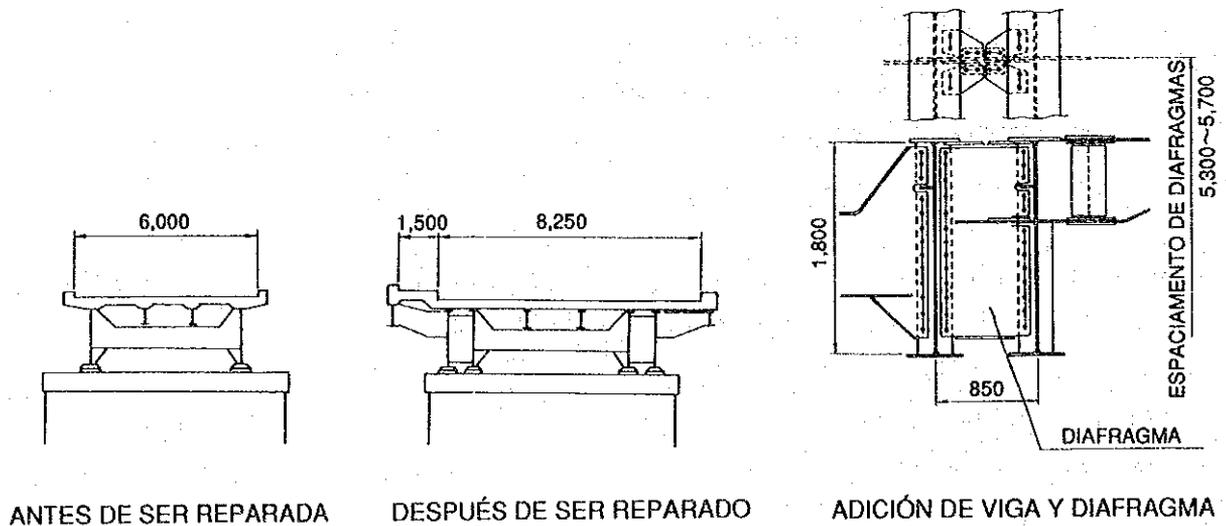


Figura 8-5 : Ejemplo de instalación de una nueva viga de refuerzo

**\* Instalación de una viga de refuerzo entre las vigas existentes para mejorar la capacidad de carga**

Para instalar la nueva viga de refuerzo entre las vigas existentes, es necesario la reposición de los arriostramientos y vigas travesaño.

Si se hace una comparación de este método de refuerzo con el de la adición de planchas de acero en las platabandas, puede observarse que, si bien la carga muerta adicional es mayor, una gran parte de los elementos adicionales pueden ser preparados en la fábrica o talleres especiales, salvando de éste modo la ejecución de soldaduras in situ. Por otro lado, puesto que la luz de cálculo de la losa nueva se reduce a la mitad de la anterior, puede conseguirse una losa más resistente y a menos costo (Figura 8-6).

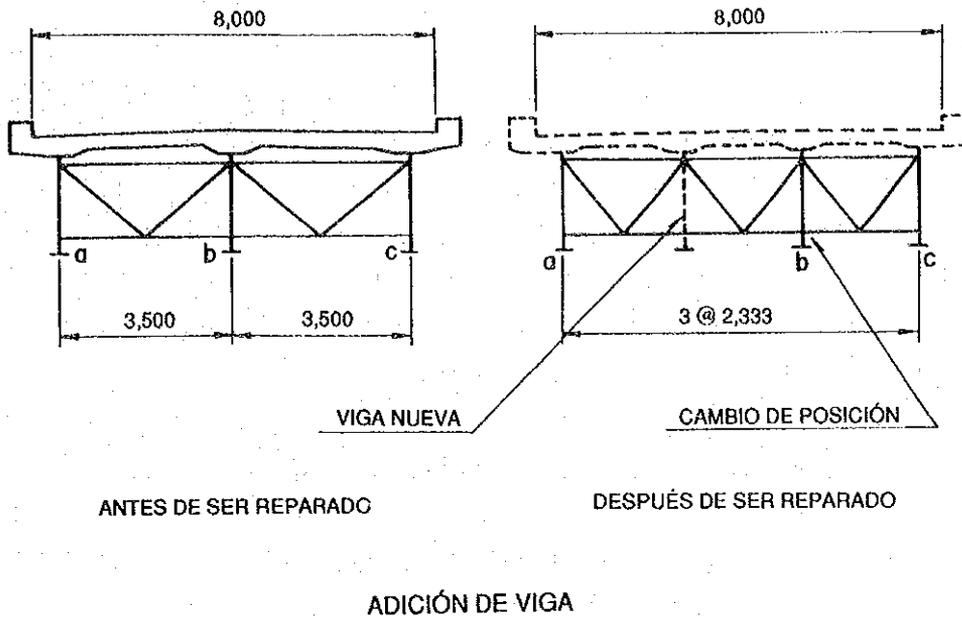


Figura 8-6: Instalación de una nueva viga de refuerzo entre las vigas existentes

**(2) Ejemplo de refuerzo del alma de la viga principal**

Este método es apropiado para los casos en que el incremento de la carga viva sobre el puente hace que las tensiones de flexión, que actúan en la viga principal, excedan a las tensiones admisibles especificadas. Para éste efecto, se instalarán planchas de acero de refuerzo en las platabandas superior e inferior unidas mediante pernos y no con soldadura (Figura 8-7).

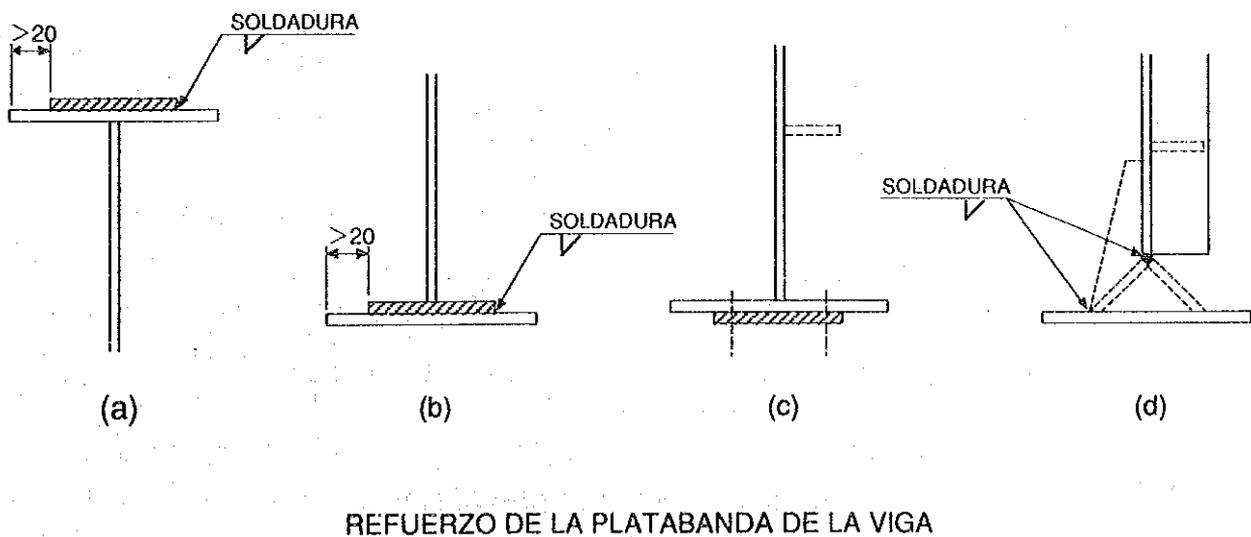


Figura 8-7

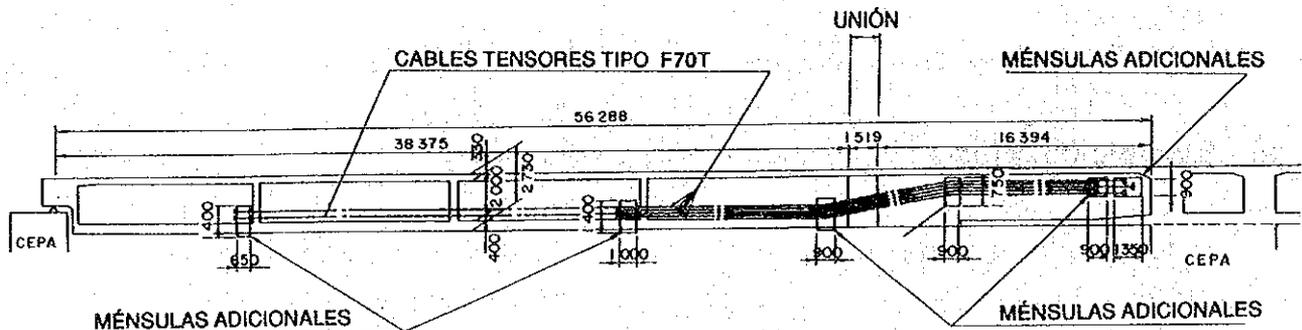
## 8-3-2 Ejemplo de refuerzo en puentes de hormigón

### \* Ejemplo de refuerzo con cables postensados instalados exteriormente

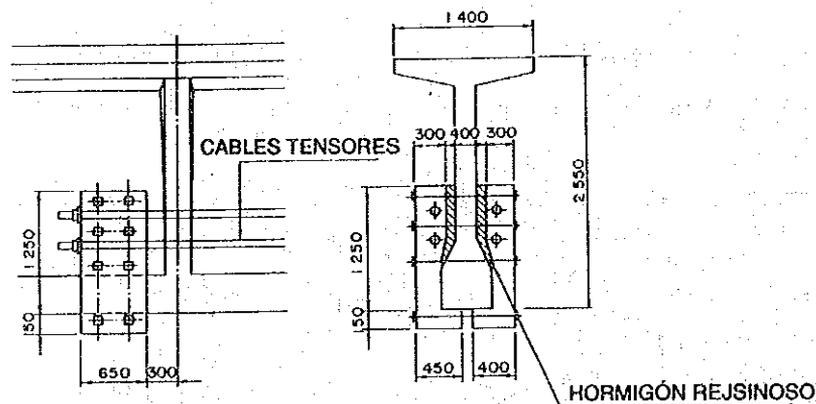
Este método de rehabilitación es apropiado en casos en que las tensiones de tracción, provenientes del efecto de grandes momentos flectores en las vigas de hormigón armado, hacen que se originen fisuras a 45° y la capacidad portante del puente sea afectada.

Este método consiste en la instalación de cables para ser postensados en forma externa a la viga en ambos lados. Para asegurar éstos cables, se instalan abrazaderas de acero aseguradas en la viga por medio de unas ménsulas adicionales adheridas con resinas epóxicas y pernos de anclaje. Luego de haber asegurado los cables se procede al tensado de los mismos.

La Figura 8-8 muestra un ejemplo de este tipo de refuerzo.



POSTENSADO DE VIGAS EXISTENTES MEDIANTE CABLES EXTERIORES



MÉNSULA DE ACERO PARA ANCLAJE DE CABLES EXTERIORES

Figura 8-8 : Ejemplo de refuerzo con cables postensados

#### 8-4 Método de rehabilitación de losas de hormigón armado

Cuando la capacidad portante de la losa se hace insuficiente, o cuando los daños que la afectan son demasiado críticos, generalmente se procede a la reposición total de ésta. Sin embargo, en esta sección mostraremos algunos casos de reparaciones que procuran conservar las losas originales restituyendo sus funciones originales.

##### 8-4-1 En caso de carbonatación crítica o envejecimiento

###### \* Ejemplo 1 : Método de refuerzo con armadura y mortero adicional

Se instala una armadura adicional de refuerzo debajo de la losa y se rellena con mortero para formar un conjunto con la losa existente e incrementar su resistencia. El mortero utilizado debe ser de gran resistencia, con poca contracción durante un fraguado rápido. La armadura debe ser instalada en ambos sentidos y debidamente anclada a los extremos de la losa existente. Debe evitarse toda vibración o movimientos de la losa hasta que el mortero haya fraguado apropiadamente, o sea debe evitarse el tránsito vehicular. Antes de decidir la rehabilitación por este método se debe verificar que el incremento de la carga muerta, de la parte de losa adicional, no ponga en peligro la resistencia de las vigas principales y la infraestructura.

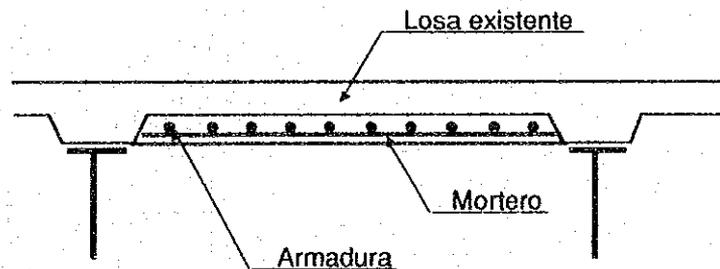


Figura 8-9: Refuerzo con armadura y mortero adicional

##### 8-4-2 En caso de grietas y fisuramiento crítico

###### \* Ejemplo 2 : Método de refuerzo con placas de acero pegadas a la losa

Este método consiste en reforzar la superficie de la sección de losa que está sometida a esfuerzos de tracción, mediante planchas de acero pegadas a su superficie en franjas longitudinales, aumentando de esta manera la eficiencia de la sección de toda la losa. El espesor de éstas planchas de acero debe estar en un margen de 4.5mm a 6mm, y se debe usar un adhesivo epóxico. Para la ejecución del trabajo de adhesión se puede usar el método de adhesión por presión o por inyección.

Se deben tener en cuenta las siguientes precauciones:

- 1) Usualmente existen dos tipos de planchas de acero para ser utilizadas en éste método. Una de ellas consiste en franjas anchas pegadas longitudinalmente y cubriendo un gran espacio de losa entre viga y viga; el otro tipo consiste en el uso de numerosas franjas de 20cm a 30cm de ancho. En el primer caso se logra que las fisuras no se propaguen en todo sentido, y en el segundo se logra controlar apropiadamente las fisuras que van en el sentido de la armadura principal de la losa.
- 2) La efectividad de este método depende mucho de la adhesión de las planchas de acero en el hormigón, por lo que se necesita preparar adecuadamente ambas superficies de contacto.
- 3) El adhesivo debe elegirse de acuerdo al método de trabajo y a las condiciones atmosféricas de cuando se realice éste.
- 4) Por las características especiales de los adhesivos, es conveniente no realizar estos trabajos cuando la temperatura ambiente es muy baja.
- 5) En el método de adhesión por presión, debe aplicarse presión uniforme en toda la superficie de la plancha. En el método de inyección, es necesario tener la precaución de introducir el adhesivo a toda la abertura.
- 6) En las uniones de planchas de acero debe colocarse una plancha de unión o empalme de unos 50cm de ancho y sellar con resina epóxica (la plancha principal con la de empalme), y complementar ésta unión con pernos de anclaje de un diámetro entre 10mm a 13mm.

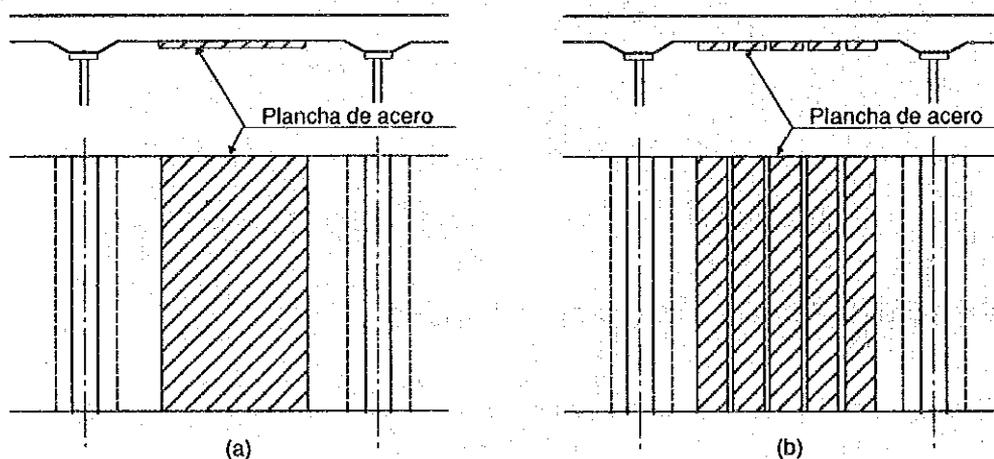


Figura 8-10 : Refuerzo con placas de acero pegadas a la losa

### **8-4-3 Otros métodos**

#### **\* Ejemplo 3 : Método de refuerzo con FRP (Fiber Resin Plastic)**

En este método, en vez de utilizar planchas de acero, se utilizan fibras de resina plástica (FRP), Debido a que las FRP son más flexibles, tienen mejor adaptabilidad a la losa y son más livianas, por lo que es más fácil de trabajar con ellas. Sin embargo, debido a que su coeficiente de elasticidad es muy bajo, la efectividad en términos de resistencia también es reducida.

#### **\* Ejemplo 4 : Refuerzo lateral de la losa**

Se agrega una viga transversal directamente debajo del borde libre para sostener la losa de un lado y aligerar el momento de flexión de esa parte. La instalación de esta viga transversal contra la superficie inferior de losa se hace de la misma forma que con la viga de refuerzo.

## 8-5 Método de rehabilitación de cepas

### 8-5-1 Cepas tipo columnas aporticadas

Los puentes en arco de hormigón armado con los tramos extremos soportados con cepas tipo pilares o columnas aporticadas, comparativamente numerosos en Chile, son muy esbeltos desde el punto de vista del diseño estructural antisísmico. Además, puesto que en muchos casos se observó la existencia de fisuras y deformaciones por flexión (pandeo), es necesario implementar su reparación y refuerzo. Las deformaciones (flechas) en sentido normal al eje del puente se pueden solucionar incrementando la sección de las columnas o pilares y agregando dos vigas travesaño de arriostre, una a media altura y otra en tope superior (figura de la izquierda), o convirtiendo la cepa tipo columna en una de tipo pared o muro (figura a la derecha).

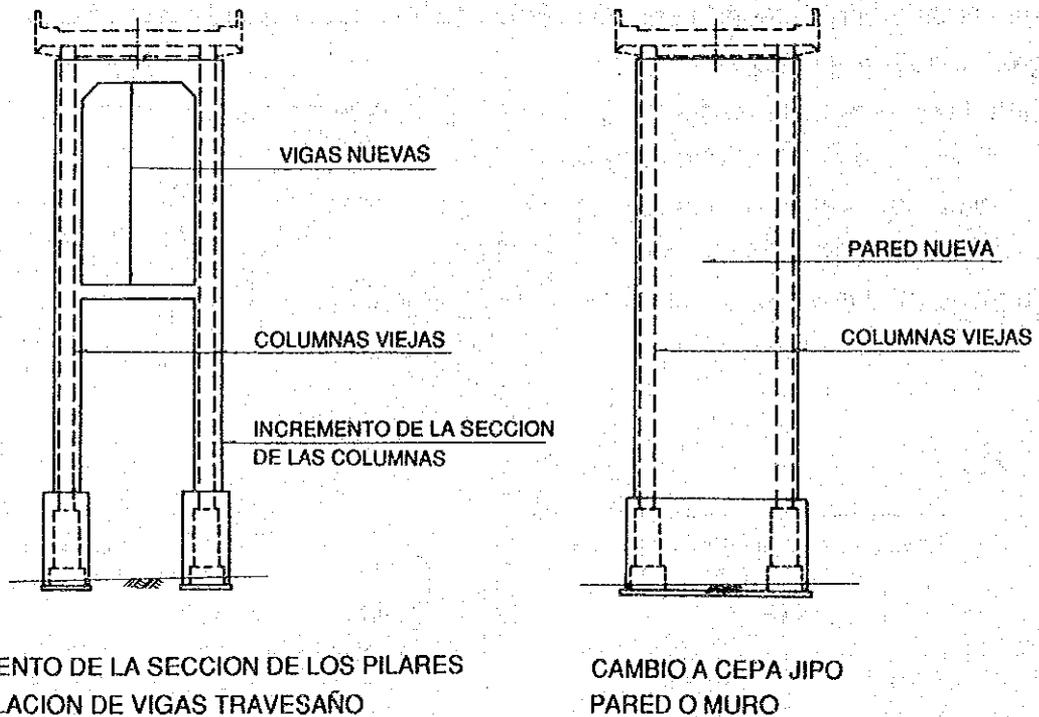


Figura 8-11

### 8-5-2 Cepas de tipo pared

Existen casos en que las cepas de tipo pared, debido a que el espesor y/o la armadura de refuerzo, son insuficientes, o debido a asentamientos de las fundaciones, etc. los daños se hacen tan críticos que se originan grietas. Al respecto, la inyección de resinas epóxicas, u otro tipo de morteros, no es suficiente para su reparación, pues es probable que éstas grietas provengan desde el interior de la pared. Para reparar eficientemente este tipo de daños deberá cubrirse la superficie con hormigón nuevo. En éste caso, para conseguir una buena unión entre el hormigón viejo y el nuevo, se debe picar la superficie del hormigón viejo hasta dejar a la vista la armadura, y luego de limpiar exhaustivamente toda la superficie picada, se instala la nueva armadura de tal manera que haya continuidad con la vieja, y se procede al encofrado y vaciado del hormigón. (Figura de la izquierda)

Además existe también el método en el cual se utilizan pernos de anclaje que se empotran en la pared vieja, perforando la superficie con taladros y fijando los pernos con resinas epóxicas. A éstos anclajes se fija la armadura del hormigón nuevo, previamente haber picado un poco y limpiado la superficie vieja, y se vacía el hormigón (Figura de la derecha).

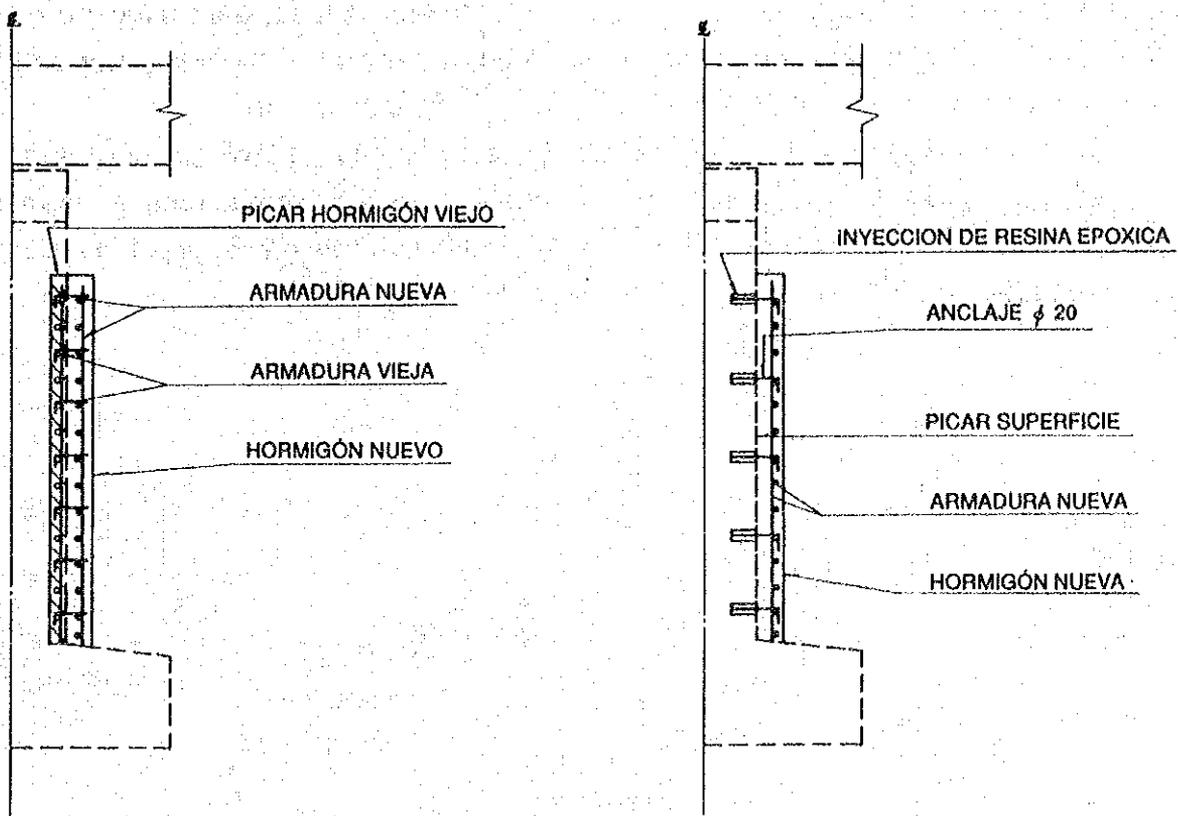


Figura 8-12

## 8-6 Métodos de rehabilitación de daños debido a factores hidrológicos

### 8-6-1 Protección contra la socavación del lecho

Generalmente cuando la seguridad de un puente se ve afectada por problemas relacionados con la socavación del lecho, la construcción de protectores "anti-socavación" no es nada fácil. Especialmente en Chile, que por las características de torrente de sus ríos, la mayoría sufren con este tipo de problemas. Al respecto, puede añadirse que cada río tiene sus propias y peculiares formas de socavarse, por lo que las soluciones varían también para cada caso.

A continuación se presenta dos ejemplos, uno corresponde al caso de un río con cauce profundo y otro con un cauce poco profundo. Las soluciones propuestas son para un lecho de tierra con grano fino en el primer caso, y un lecho arenoso para el segundo caso.

En el caso de un río poco profundo, existe un trabajo de profundización de los cimientos. Normalmente se utiliza hormigón armado y madera rollizo para fabricar un marco de tres capas, poniendo piedras bolón en el centro, instalando todo el conjunto en el fondo del río. Otro método, simple y relativamente barato, es el de colocar gaviões. Además existen otros métodos para evitar que se desplace la arena o tierra del lecho, mediante pequeñas estructuras que cruzan el río de lado a lado, pero éstas no evitan que el arrastre del material del lecho continúe en la parte no protegida y por esto es necesario realizar un control permanente de las condiciones del río.

En el caso de un río relativamente profundo se coloca un tablestacado de acero alrededor de la base de las zapatas, también pueden utilizarse protectores de hormigón para este efecto. Puesto que éstos métodos son relativamente caros, podrían utilizarse protectores de piedras bolones o piedras de canto rodado.

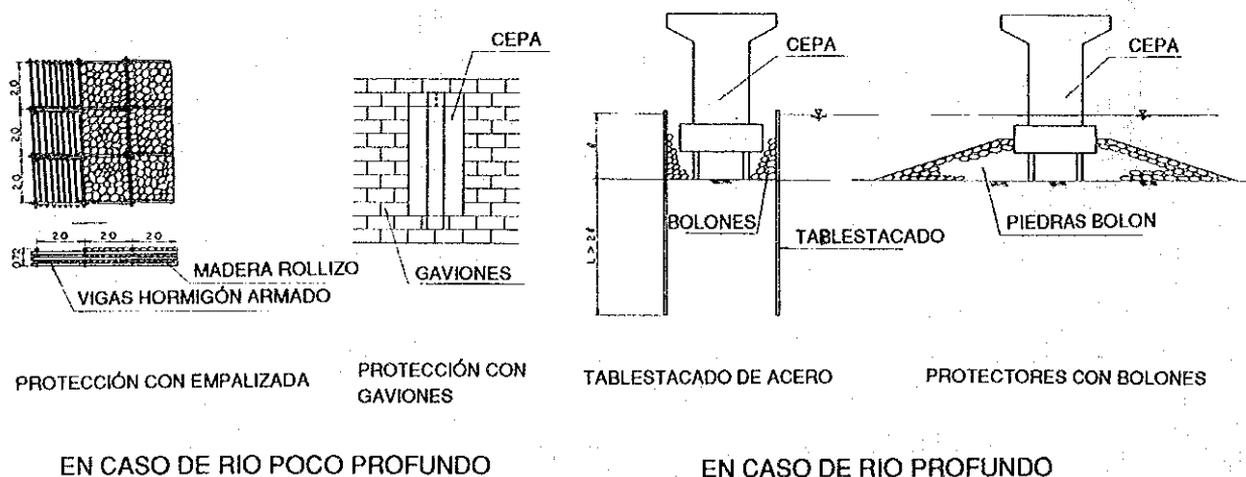
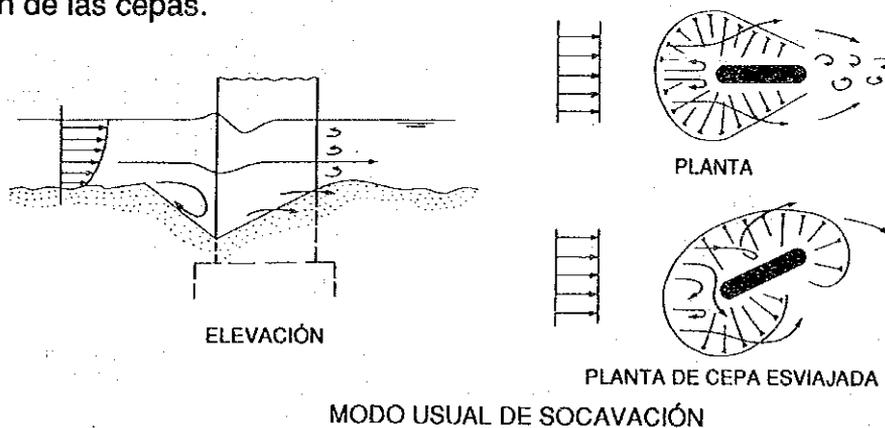


Figura 8-13

### 8-6-2 Socavación de las fundaciones de las cepas

El fenómeno de socavación en las cepas tiene un efecto muy complicado en la resistencia de éstas, y depende de una infinidad de condiciones que tienen que ver con las dimensiones de la cepa (ancho, largo, esviaje, etc.), condiciones del lecho de fundación, condiciones hidráulicas (velocidad, altura de escurrimiento, etc), propiedades de los materiales del lecho, etc. De acuerdo a datos experimentales, el fenómeno de socavación se desarrolla como se muestra en la figura de la izquierda, formando remolinos alrededor de la base. Además, con el objeto de dar una referencia de ayuda durante las inspecciones para la evaluación del grado de peligrosidad del fenómeno de socavación, se muestran los resultados obtenidos en experimentos realizados en laboratorio para obtener la altura admisible de socavación para diferentes tipos de sección de las cepas.



ALTURA DE SOCAVACIÓN ADMISIBLE PARACEPAS ALINEADAS PARALELAS AL FLUJO

SECCIÓN DE LA SEPA	ELEVACIÓN	ALTURA DE SOCAVACIÓN ADMISIBLE
		$h = 1.5B$
	ÍDEM	$h = 1.5B$
	ÍDEM	$h = 2.0B$
	ÍDEM	$h = 1.2B$
		$h = 1.0B$
ÍDEM		$h = 2.0B$

NOTA: SI LA PROFUNDIDAD EXCEDE A 5B, LA ALTURA DE SOCAVACIÓN ADMISIBLE DEBE SER INCREMENTADA EN EL 50%.

Figura 8-14

Los trabajos de rehabilitación dependen del grado de socavación. Por ejemplo, si es relativamente poco importante o sólo es necesario como medida preventiva, será suficiente con colocar gaviones para evitar que empeore la situación. Por el contrario, si el problema es más crítico y ha alcanzado a la base inferior de la zapata de fundación (nivel del lecho considerado en el diseño), o cuando no se cumplen las condiciones de estabilidad alrededor de la base del puente, se debe proteger contra la socavación utilizando tablestacados de acero, o adicionando pilotes para mejorar la estabilidad del puente, o aplicando otro método de refuerzo que sea apropiado.

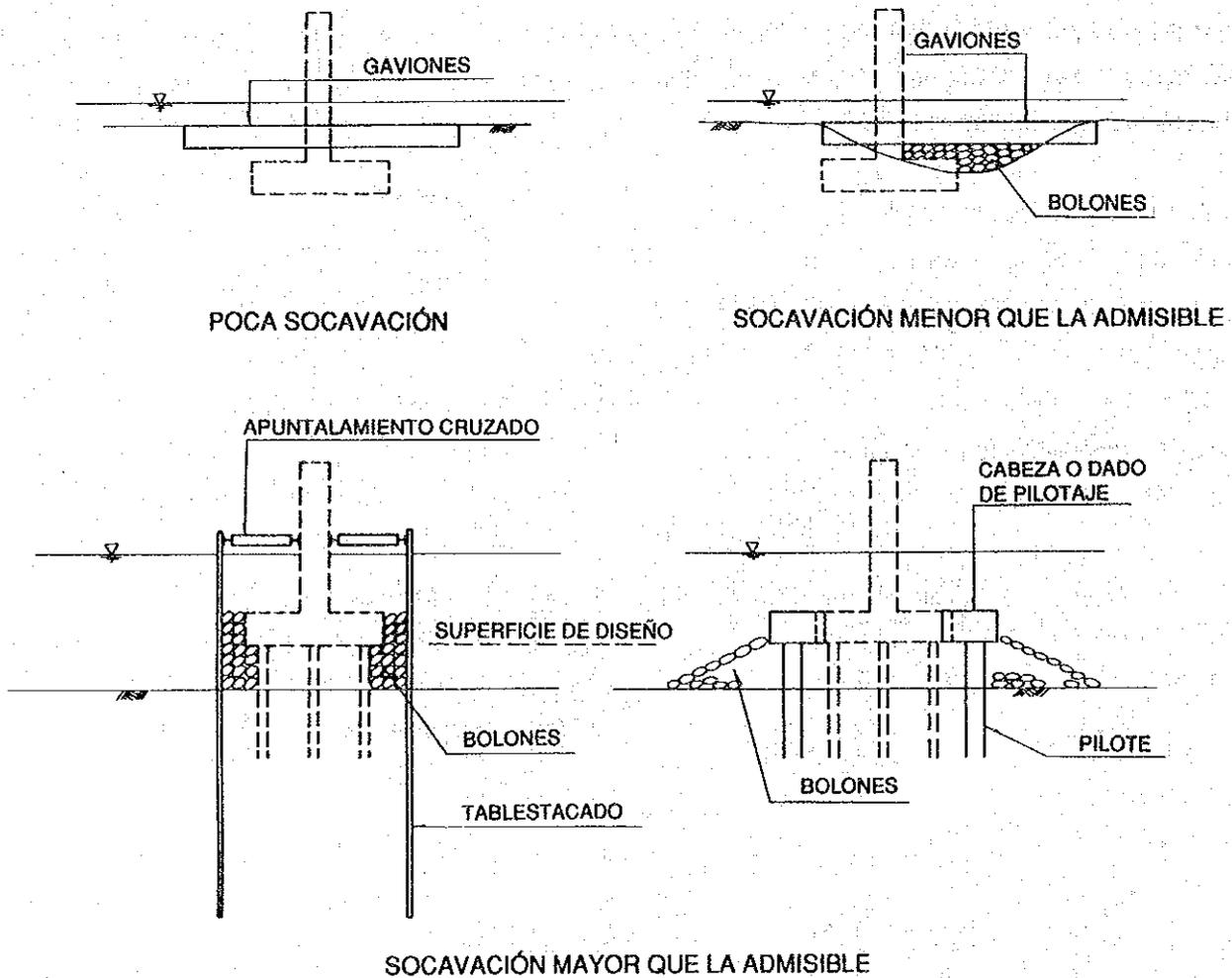
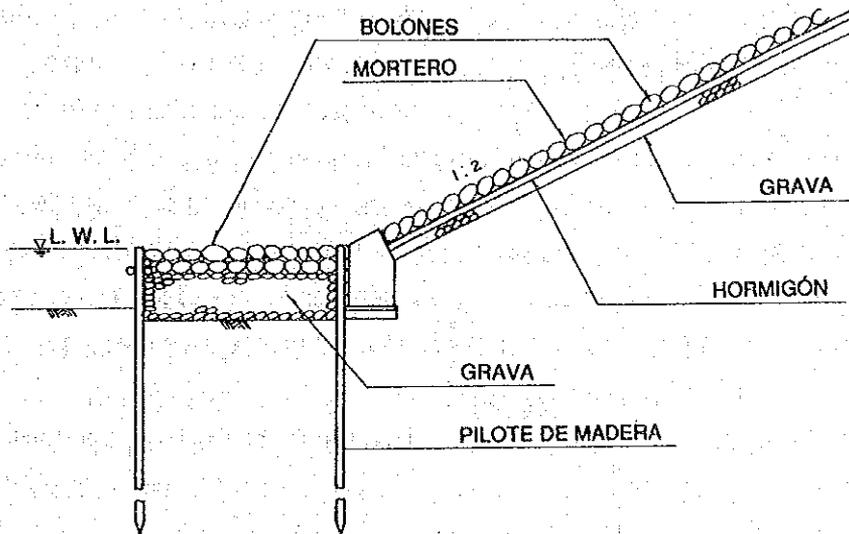


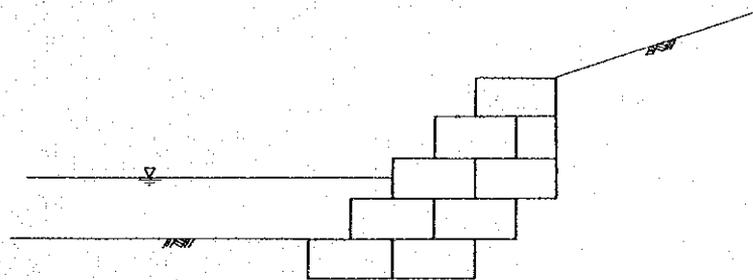
Figura 8-15

### 8-6-3 Socavación de las riberas

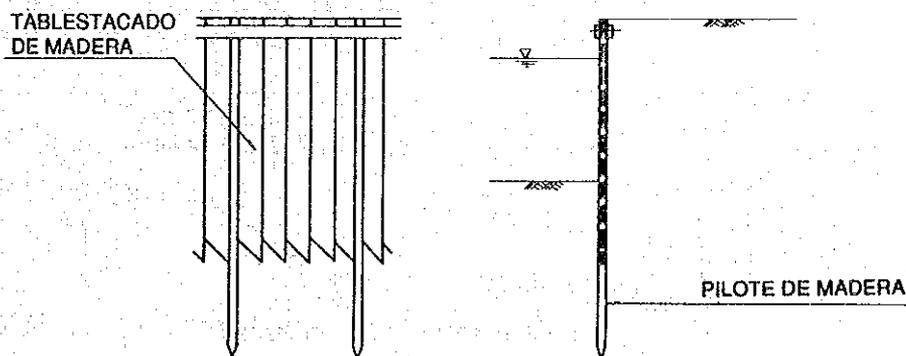
La socavación de las riberas puede afectar a las fundaciones del puente, por lo tanto, es necesario proteger también las orillas en las cercanías de éste. Existen muchos y distintos métodos para evitar que este fenómeno dañe las fundaciones, y como referencia presentamos tres ejemplos de métodos relativamente económicos.



(1) PROTECCIÓN CON MAMPOSTERÍA



(2) PROTECCIÓN CON GAVIONES



(3) TABLESTACADO DE MADERA

Figura 8-16

### 8-6-4 Lugar Inapropiado para emplazamiento del puente

Cuando no se efectúan trabajos de mantenimiento del cauce de los ríos, el curso de éstos varía demasiado con el transcurso del tiempo, y puede afectar mucho a la estructura de los estribos, especialmente en los casos en que la longitud del puente resulta ser insuficiente (debido precisamente a éstos cambios en el cauce) y las aguas del río escurren golpeando directamente a las fundaciones del estribo o al pie del talud que éste soporta. Por otra parte, si con el objeto de proteger las riberas, se produce un cambio en la dirección del flujo en las inmediaciones del puente, podría ocasionarse que la presión del agua y la fuerza de arrastre del río se incrementen afectando al puente.

Al respecto de éstos problemas, cabe señalar que es muy importante efectuar trabajos de conservación y protección de las orillas en forma periódica, por lo menos en una área determinada aguas arriba y aguas abajo del puente, y lograr la estabilidad del área de escurrimiento. En cuanto al caso de un puente con longitud insuficiente respecto al río, es necesario que éste sea prolongado sin afectar el cauce o debe protegerse el terraplén de los accesos con un tablestacado de acero.

Los trabajos de protección, normalmente enderezan el cauce hacia el centro del río. Si la presión del agua contra el estribo es muy grande, se pueden colocar pilotes antes del puente para suavizar el efecto de la corriente.

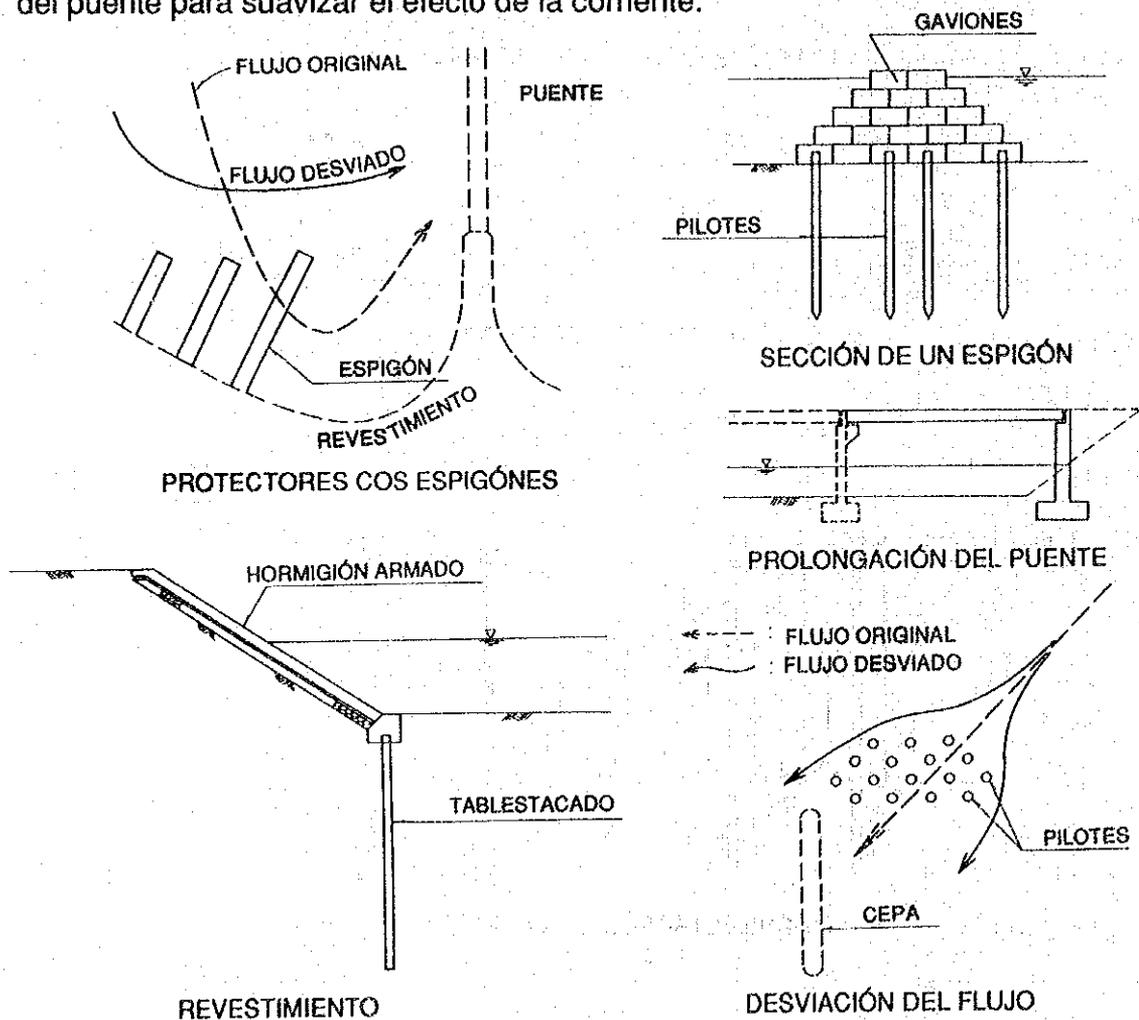


Figura 8-17

## **8-7 Métodos de rehabilitación relacionados con factores geológicos y de mecánica de suelos**

Cuando en un puente se detectan cambios o deformaciones que no se deben específicamente al diseño o a las técnicas de construcción, normalmente puede ser por razones hidrológicas, geológicas o de mecánica de suelos, o también podría tener relación con problemas sísmicos. Si no se tiene certeza de que sea un problema directamente relacionado con la hidrología o sismología, debe implementarse un estudio geológico y de suelos mediante sondeos y ensayos de laboratorio para determinar si la causa radica en uno de éstos factores.

Aunque la capacidad portante del terreno sea comparativamente baja, si las fundaciones estuviesen adecuadamente diseñadas y construidas, éste no sería un problema serio. Sin embargo, debe considerarse que el nivel del lecho, las condiciones de carga del puente y otras condiciones pueden cambiar con el transcurso el tiempo.

Generalmente se registran los siguientes tipos de daños o defectos:

- 1) Asentamientos en el pavimento de los accesos
  - 2) Rotación o desplazamiento de los estribos
  - 3) Inclinaciones o asentamientos de la infraestructura
  - 4) Asentamientos disperejos del puente en general
  - 5) Deslizamientos del talud natural de la fundación del puente
  - 6) Daños producidos por terremotos
- ,etc.

A continuación se dan ejemplos de contramedidas para estos problemas.

### **8-7-1 Asentamientos en el pavimento de los accesos**

Éstos pueden deberse a problemas constructivos, porque se ha preparado mal el terreno de fundación, o debido a que el terraplén o talud de los accesos no está bien protegido. Puesto que el estribo está sostenido por pilotes de fundación, generalmente no sufre asentamientos, es por esto que la diferencia de nivel entre la superficie del puente y la de los accesos irá acentuándose. Se pueden hacer correcciones periódicas mediante resellado del pavimento, pero si el proceso de asentamiento es muy rápido, pueden instalarse losas de acceso.

### **8-7-2 Rotación o desplazamiento de los estribos**

Cuando el estribo está fundado sobre un terreno débil y el relleno en sus paredes trasera y frontal tienen diferentes niveles, pueden haber movimientos de rotación o desplazamientos de la tierra que hacen que también el estribo se mueva en el mismo sentido.

Las contramedidas básicas para solucionar este problema pueden ser:

- 1) Muros de tierra como contrapeso (Esto no es efectivo en el caso de puentes sobre ríos)
- 2) Viga comunicante de las zapatas (limitado al caso de separaciones chicas entre estribos y cepas)
- 3) Refuerzo de las fundaciones mediante pilotes adicionales
- 4) Refuerzo del relleno posterior al estribo mediante construcciones nuevas. (losa de acceso, o implementación tramos adicionales)
- 5) Reconstrucción del estribo
- 6) Mejoramiento del suelo de fundación mediante inyección de aditivos
- 7) Refuerzo de la resistencia horizontal del estribo mediante anclajes de tierra, etc.

Debe seleccionarse el método de rehabilitación más adecuado analizando el grado de daños del estribo, las condiciones del terreno de fundación, factores económicos, etc.

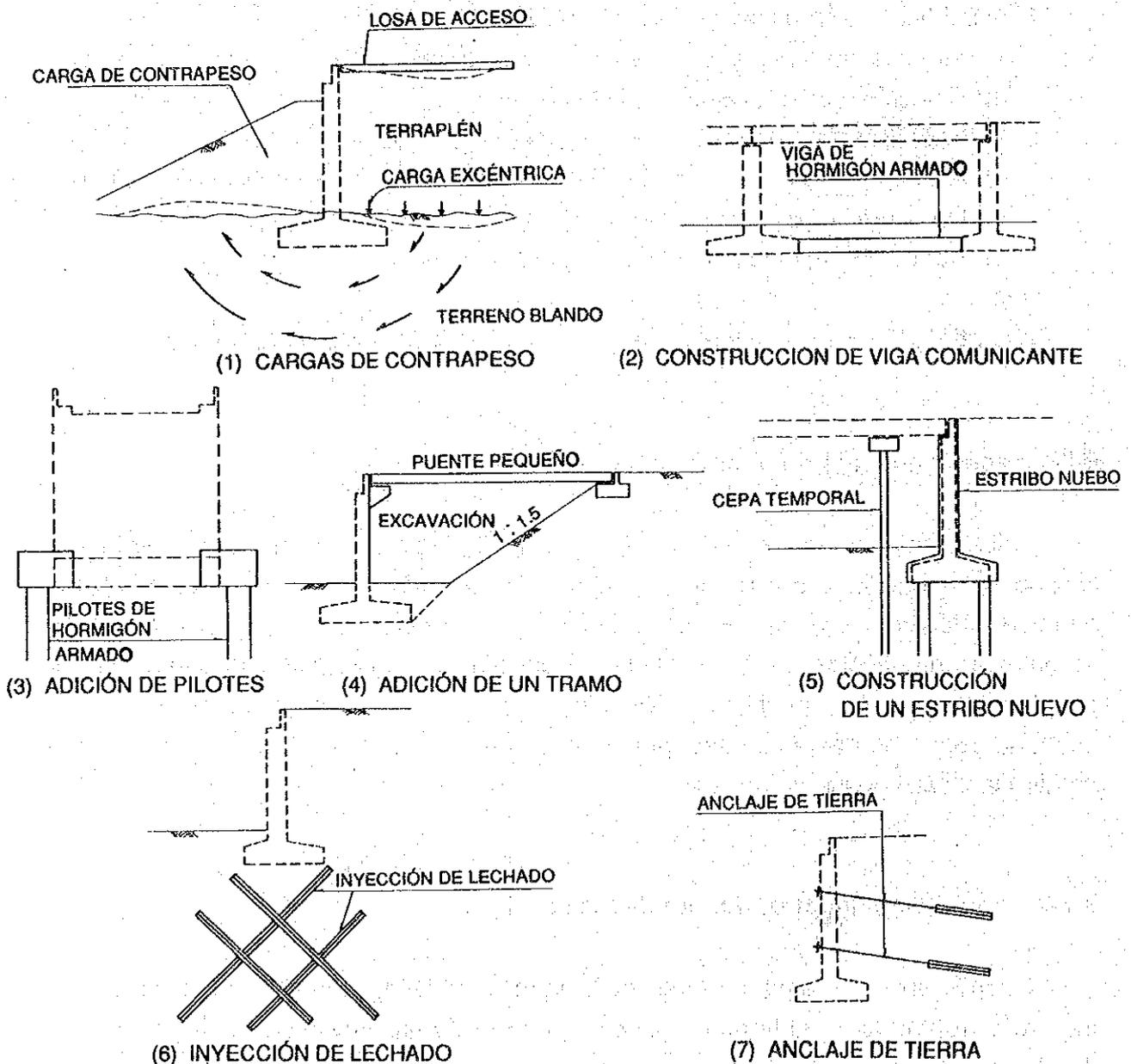


Figura 8-18

### 8-7-3 Inclinaciones o asentamientos de la infraestructura

Es necesario identificar claramente la causa del asentamiento de la infraestructura, y utilizar un método de rehabilitación apropiado.

Por ejemplo, aunque el suelo del lecho de fundación sea de buena calidad, si la carga del puente supera las especificaciones para este tipo de suelo, puede ocurrir que de todos modos se originen asentamientos o inclinaciones de la infraestructura. En estos casos se pueden analizar las causas probables y de acuerdo a esto, disminuir la carga muerta del puente, reforzar las fundaciones, etc. En el caso de fundaciones con pilotes, debe hacerse primero un estudio de suelos y en base a éste, hacer el cálculo de la estabilidad para determinar su capacidad para resistir esta clase de solicitaciones. Debe tomarse en cuenta que los asentamientos o inclinaciones, se deben generalmente a la falta de capacidad portante de los pilotes de fundación, pero sin embargo, también podrían deberse a que los pilotes no llegan a la base del lecho o a que la carga que soporta el puente es mayor a la especificada para los pilotes que están todavía en un nivel de fricción, o talvez podrían deberse a inundaciones o terremotos que hayan aflojado las bases de los pilotes.

Por otra parte, existe la probabilidad de que los pilotes hayan fallado internamente debido las solicitaciones de tracción generadas por los momentos flectores entre los pilotes y el terreno, ocasionando la inclinación y/o asentamiento de la parte superficial de éstos.

Consecuentemente, el método de reconstrucción o de rehabilitación debe decidirse determinando primeramente la causa que originó el problema.

A continuación se presentan algunos ejemplos.

- 1) Refuerzo con pilotes de acero (recalce de zapatas): Se excava debajo de las zapatas, y se agregan pilotes de fundación (pilotes de acero), levantando la zapata e infraestructura mediante gatos.
- 2) Mejoramiento del lecho (Inyección de lechado): Se hacen perforaciones hasta alcanzar a los pilotes, y por éstas, se inyecta lechado o morteros para reforzar la capacidad de los pilotes.
- 3) Pilotes adicionales: Se agregan nuevos pilotes fuera de las zapatas actuales y se construyen nuevas zapatas encima de éstos como continuación de las zapatas anteriores para que sirvan como apoyo adicional.
- 4) Ampliación de las zapata: Se hincan pilotes adicionales a los lados de las zapatas actuales y luego se amplían las zapatas conectando con los nuevos pilotes, luego se instalan cables de postensado para conseguir una unidad solida de la estructura nueva con la vieja.
- 5) Reconstrucción parcial de la infraestructura: Debe construirse primeramente una cepa provisional, y luego reconstruir la parte afectada de la infraestructura utilizando como soporte la estructura vieja.

6) Reposición total de parte de la infraestructura: Se agregan cepas provisionales a cada lado de la actual, con zapatas independientes nuevas (que podrían ser aprovechadas luego para la nueva cepa), y luego se demuele la cepa vieja. Una vez reconstruida ésta cepa en su posición original, se retiran las provisionales. Finalmente se construye una estructura comunicante para las zapatas.

,etc.

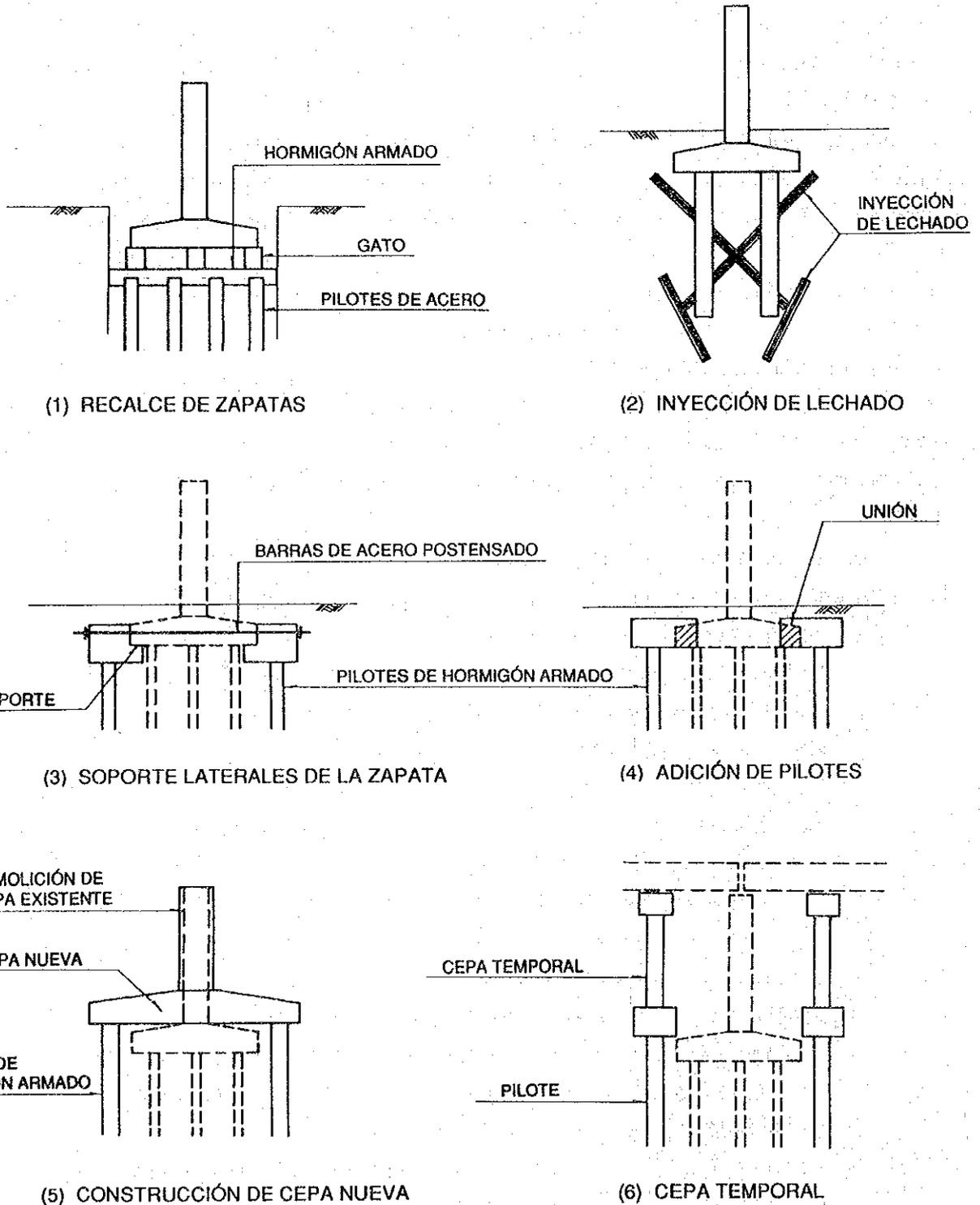


Figura 8-19

#### 8-7-4 Asentamientos disperejos del puente en general

Si durante el estudio especializado, conocido también como inspección detallada (es más recomendable hacer previamente una inspección periódica), se determina que hay un asentamiento disperejo general del puente, debe seleccionarse un método para solucionar este problema. Este problema y su solución, pueden afectar enormemente al tránsito de vehículos; pero, si los costos de reparación son muy grandes y su ejecución es muy riesgosa, puede considerarse que ha llegado el momento en que la construcción de un nuevo puente es la mejor medida de solución.

En términos generales, son muy pocos los casos en que la profundidad de hincado de los pilotes de fundación alcanza al estrato rocoso, y en realidad la mayoría están fundados sobre una capa con poca capacidad portante, por lo que está latente la probabilidad de que ése estrato influya para que a largo plazo se produzcan los asentamientos disperejos. Consecuentemente, en casos extremos en que éstos asentamientos puedan afectar al tránsito, se pueden hacer rehabilitaciones que eliminen parte del problema, rellenando los desniveles, resellando el pavimento, reparando las juntas de expansión, y otras soluciones de emergencia.

O sea, cuando la estructura empieza a verse afectada por el hundimiento o inclinación del puente, y existe además un probable peligro de que el tránsito sea afectado, es necesario implementar los trabajos de rehabilitación o refuerzo. El refuerzo del terreno de fundación, en el caso de asentamientos disperejos, requiere trabajos de gran envergadura (hincado de pilotes de cal, inyección de lechado). A éste respecto existen otros métodos como ser el de sustitución (sustitución de terraplén, sustitución de refuerzos), rellenos de presión, método de arena compactada, método de sujeción por anclajes, etc.

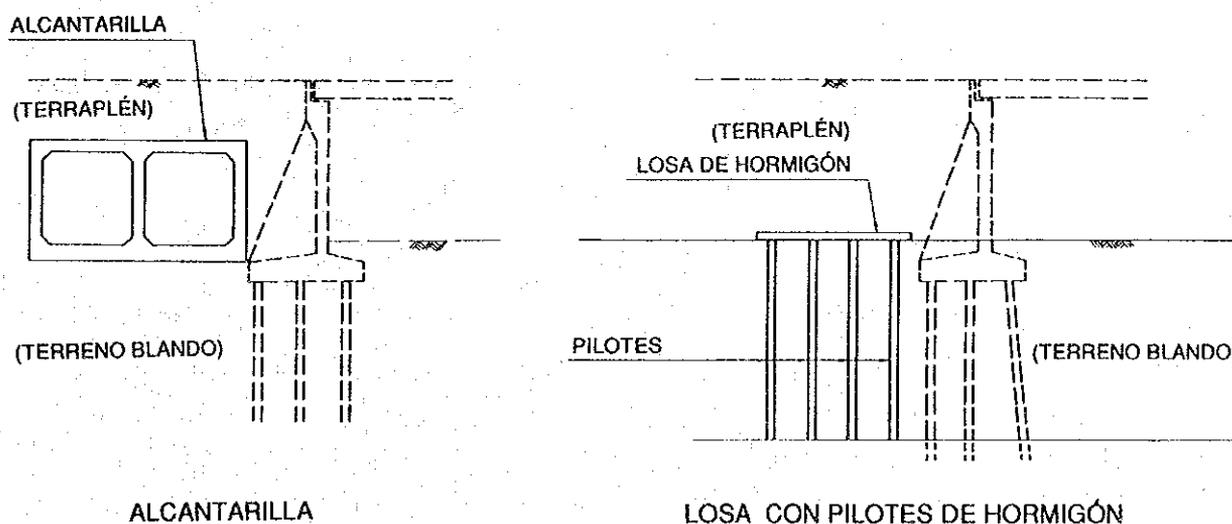


Figura 8-20

### 8-7-5 Deslizamientos del talud natural de la fundación del puente

Básicamente las contramedidas para la protección del puente ante el probable fenómeno de deslizamiento del talud, si lo hubiera, debe planificarse en la etapa de diseño del puente, (efectuando estudios geológicos y de suelos) trazando la vía de tal forma que se eviten los lugares en que se pudiera originar este tipo de problema. Si después de haber terminado la construcción del puente, se detecta un deslizamiento de tierra, deben realizarse estudios geológicos y de suelos, y se debe examinar su firmeza para determinar si como contramedida es apropiada la implementación de un muro de contención, o la afirmación del puente en sí. Pues las contramedidas dependen estrechamente de las condiciones concernientes con la topografía, mecánica de suelos, etc.

A continuación se mencionan algunos métodos; en la práctica se pueden combinar éstos y otros más para obtener el método más apropiado.

- 1) Reconformación del talud (Remoción de terreno en la cabeza del talud, contrapesado en el pie)
- 2) Pilotes de contención
- 3) Anclaje de tierra
- 4) Estructuras de drenaje (pozos drenantes, alcantarillas colectoras, drenaje horizontal)

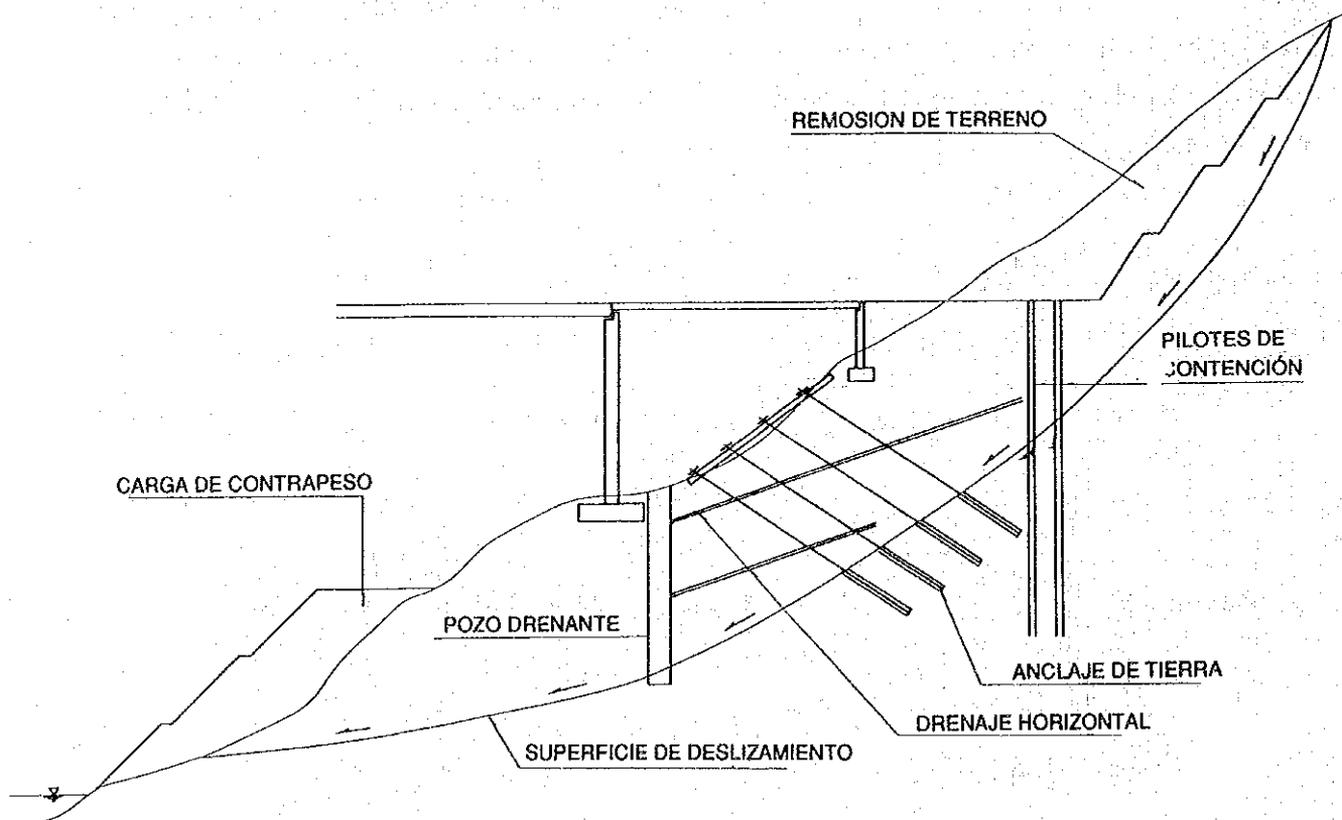


Figura 8-21

### 8-7-6 Daños producidos por terremotos

Uno de los fenómenos que más afecta a los lechos de fundación compuestos por suelos arenosos, es el fenómeno conocido como "licuefacción de la arena", que consiste en la disgregación de éstos estratos por el efecto de movimientos vibratoriales, como ser sismos, etc. haciendo que el terreno pierda su capacidad portante. En términos generales, los suelos arenosos tienen un alto coeficiente de filtración o escurrimiento de aguas; pero en caso de movimientos sísmicos, o la acción de cargas vibratoriales o repetitivas, éstas cualidades disminuyen y el drenaje no se realiza con la suficiente velocidad, ocasionando el mencionado fenómeno de licuefacción, y consecuentemente ocasiona que las estructuras fundadas sobre éste estrato sufran de asentamientos, giros, deslizamientos, etc. Por el contrario, en los estratos compuestos por material gravoso y piedras bolón, el agua escurre también con cierta rapidez y no se produce el fenómeno de licuefacción, y tampoco en el caso de que la cohesión de las partículas de suelo sea alta, aunque esto no sea favorable para el escurrimiento de las aguas.

Por tanto, para evitar desmoronamientos o la licuefacción de la arena, se debe elegir un terreno con gran densidad (compacto), con poca absorción, poca presión de agua y un buen coeficiente de escurrimiento; si éste no fuera el caso, debe procederse a la sustitución por materiales óptimos para la construcción de taludes, creación de taludes poco propensos a los deslizamientos, etc.

Concretamente, puede recurrirse a uno de los siguientes métodos:

1) Método de preparación de estructuras (Tablestacado, pilotes, losas, etc.)

Se debe hincar un tablestacado en la base detrás de la pared posterior del estribo, afirmando el terreno para evitar los desmoronamientos. El mismo resultado se puede obtener con pilotes en lugar del tablestacado. Para mejorar aún más el efecto se pueden colocar losas o ataguías de tierra (pequeños muros de contención hechos de tierra). Si el peso propio de éstas ataguías, o la cantidad de pilotes resultan ser muy grandes, pueden utilizarse tuberías corrugadas o alcantarillas. Este método es costoso pero se debe usar en caso de que el mantenimiento actual del puente no dé los resultados esperados.

2) Método de colchón de arena (Método de arena compactada)

En este caso se construyen pilotes y un colchón de arena compactada por capas alternadas para mejorar la capacidad portante del terreno de fundación, estabilizando el proceso de asentamientos por consolidación. Este método tiene por objeto hacer que la consolidación progrese y se establezca lo más pronto posible. Como método de construcción puede usarse la preconsolidación (por la acción de precargas), o vibración.

3) Método de compactación por vibración (Método de vibro•flotación)

Este es un método que consigue eficientemente compactar lechos arenosos mediante vibración. Para esto se introduce una máquina vibradora dentro de la arena suelta, y lubricando el vibrador en forma simultanea, se procede al trabajo de compactación. La vibración junto con el agua hacen que el lecho se compacte. Una vez terminado este trabajo de compactación, se debe colocar arena o un conglomerado en el orificio creado por el vibrador, al estilo de los pilotes de arena compactada en capas alternadas.

Para aplicar éste método de compactación por vibración superficial, también pueden utilizarse máquinas vibradoras superficiales de gran envergadura, o puede lograrse el efecto de compactación por vibración repentina introduciendo explosivos en los estratos de arena suelta.

,etc.

A pesar de existir diversos métodos, como se pudo observar, debe considerarse que la implementación de éstos es muy costosa. Por consiguiente, puesto que el estudio exhaustivo de suelos y geología llega a ser uno de los puntos más importantes durante el diseño de puentes, debe efectuarse el diseño de las fundaciones basándose en éstos resultados y la investigación de las probabilidades de que se originen asentamientos, asignando valores a las variables y coeficientes concernientes a la mecánica de suelos, sismos, etc. en forma apropiada y de parte de la seguridad.

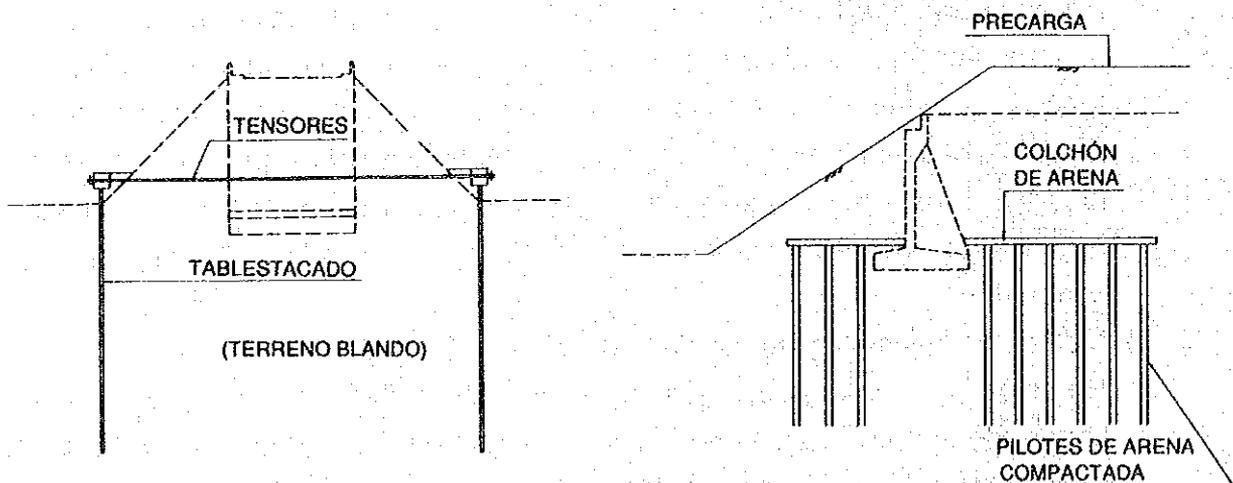


Figura 8-22

## **8-8 Contramedidas antisísmicas**

Existen diversos organismos especializados que están investigando acerca de los métodos y contramedidas más apropiadas para la protección antisísmica de puentes. A este respecto, es necesario que en Chile se introduzcan, en breve plazo, algunos puntos o medidas importantes desde el punto de vista de la administración del mantenimiento de puentes, especialmente métodos de protección contra colapsos, o para mejorar las funciones antisísmicas del puente, etc. A continuación se pueden citar algunos ejemplos que pueden servir de referencia.

### **8-8-1 Apoyos**

#### **(1) Apoyo**

Los apoyos pueden ser rehabilitados o reparados mediante la reposición del hormigón de la mesa de apoyo, renovando los pernos de anclaje, pintando o aplicando antióxidos, cambio o rehabilitación de los dispositivos de apoyo, etc. O sea, para seleccionar el método más apropiado, deberá examinarse los puntos de apoyo que soportan las vigas, y analizar además los métodos de reposición de vigas y apoyos, métodos de re-ubicación de los mismos, contramedidas de protección contra la corrosión, etc.

#### **(2) Protección contra caídas**

Es aconsejable que la protección contra caídas sea prevista durante el diseño del puente pero; sin embargo, si no se hubiera efectuado un apropiado análisis antisísmico, es recomendable preparar un sistema de mantenimiento que tenga en cuenta su estabilidad en caso de terremotos.

La estructura anti-colapsos del puente deberá sujetar firmemente los elementos superiores e inferiores de los apoyos (o sea, sujetar el dispositivo de apoyo instalado en la superestructura a su respectivo apoyo en la infraestructura) para evitar cualquier movimiento peligroso que pudiera originarse durante un terremoto.

A continuación se presentan algunos métodos clasificados según el método de construcción.

##### **1) Instalación de protectores contra caídas (Figura 8-23)**

Éstos protectores tienen como objetivo el evitar que las funciones de rotación, desplazamiento, etc. de los apoyos sean dañadas o estropeadas. Para este efecto, se sujetan las vigas a la infraestructura, otorgando cierta holgura o libertad de movimiento. También se puede efectuar esta unión entre dos vigas contiguas.

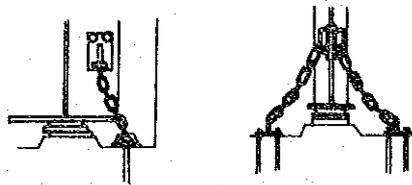
2) Aumento del ancho de la mesa o cabezal de apoyo (Figura 8-24)

La ampliación de la mesa o cabezal de apoyo es también considerada como una buena medida de protección contra colapsos. A continuación hacemos referencia a la ecuación de cálculo utilizada en las normas Japonesas para la determinación de la distancia mínima entre el cabo o extremo de la viga y el borde libre de la cabeza de apoyo (S).

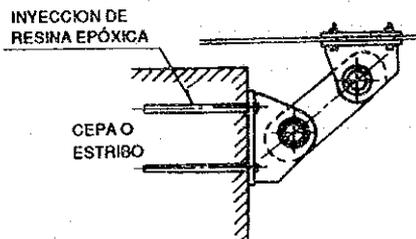
$$S(\text{cm}) = 70 + 0,5 \cdot L(\text{m})$$

donde:

L: Longitud del tramo  $\leq 100\text{m}$

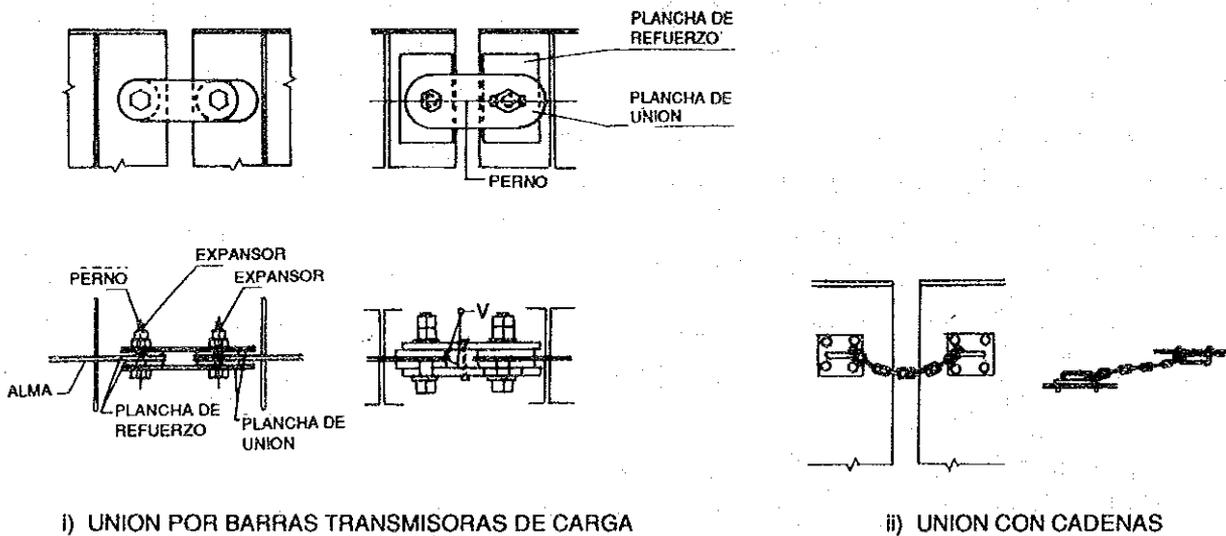


UNION DE LA VIGA A LA INFRAESTRUCTURA POR MEDIO DE CADENAS



UNION DE LA VIGA A LA INFRAESTRUCTURA POR MEDIO DE PLACASE DE ACERO

ALGUNOS ELEMENTOS DE PROTECCION

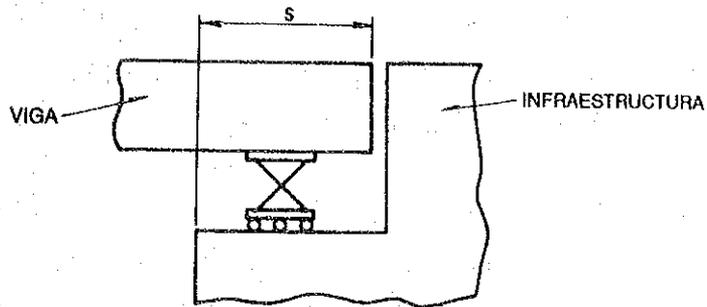


i) UNION POR BARRAS TRANSMISORAS DE CARGA

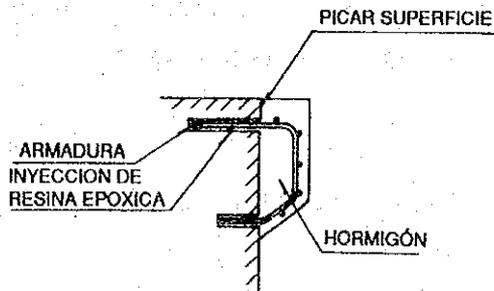
ii) UNION CON CADENAS

UNION ENTRE VIGAS (FIJAS Y MOVILES)

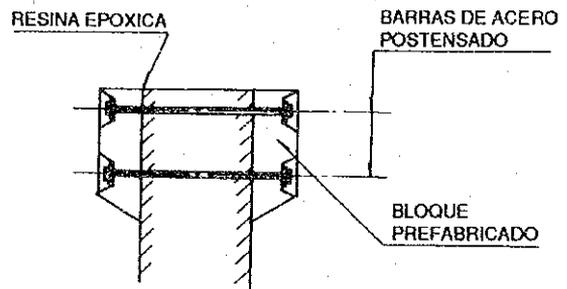
Figura 8-23



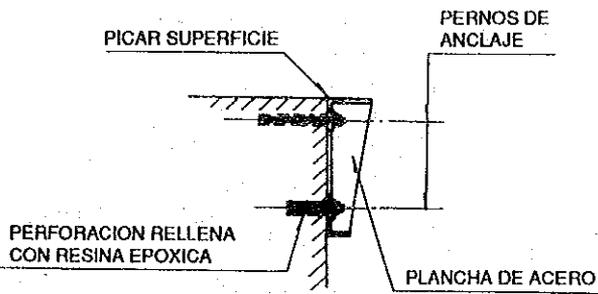
DISTANCIA DEL EXTREMO DE LA VIGA AL BORDE EXTERIOR DE LA MESA DE APOYO



ENSANCHAMIENTO DE LA MESA DE APOYO  
(DE HORMIGÓN ARMADO)



HORMIGÓN POSTENSADO  
(PREFABRICADO)



PLANCHA DE ACERO

Figura 8-24

## 8-8-2 Estribos

### 1) Método de anclajes

En éste método se ejecutan perforaciones en el terraplén del relleno posterior al estribo, desde la pared frontal de éste, y luego, se instalan anclajes en las cavidades de dichas perforaciones. La finalidad principal de éstos, es de reforzar la estabilidad del estribo contra el volcamiento y el deslizamiento.

### 2) Método de adición de pilotes

En este método se procede básicamente a la ampliación de las zapatas de fundación y al hincado de pilotes adicionales. Para esto, primeramente se pica la superficie de hormigón de las zapatas y luego se hincan los pilotes, finalmente se reponen y amplían las zapatas.

### 3) Método de anclaje del estribo a pilotes adicionales

Se hincan pilotes en el terraplén de relleno posterior al estribo, y luego se instalan tirantes de anclaje que sujeten al estribo de éstos pilotes.

### 4) Apuntalamiento de los estribos

Se instalan puntales en la pared frontal del estribo para reforzar a la estabilidad del estribo ante el volcamiento y deslizamiento.

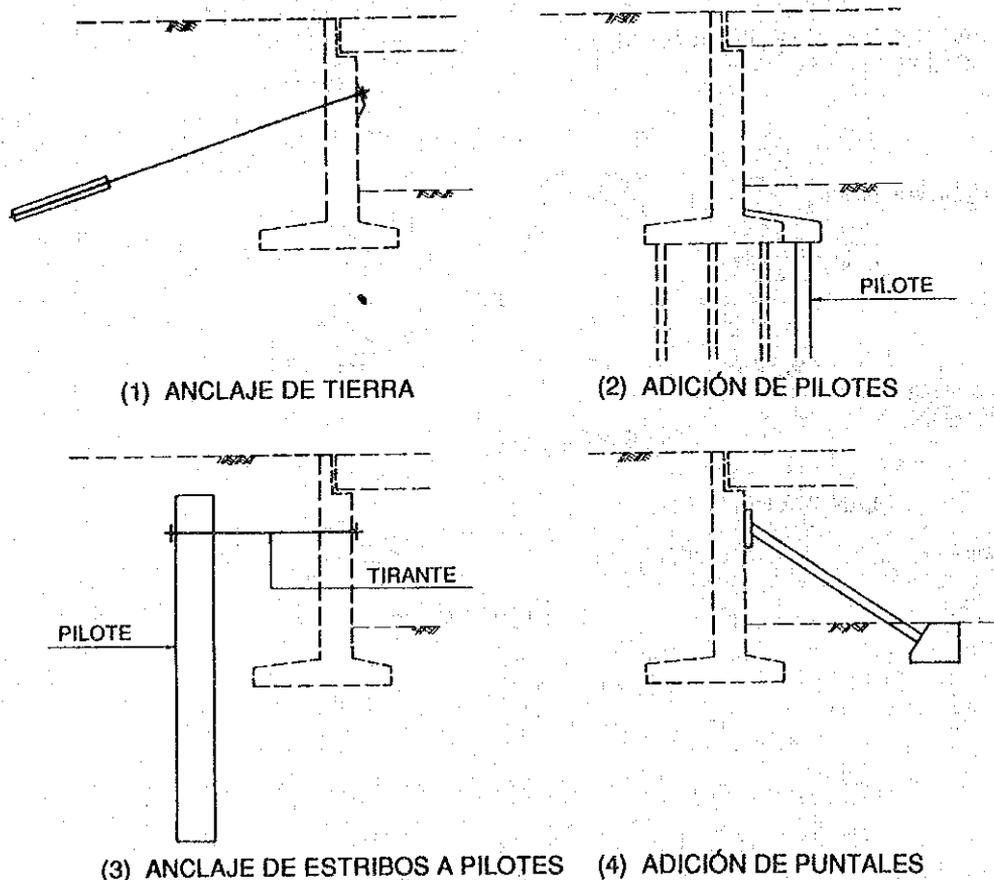


Figura 8-25

### 8-8-3 Cepas

#### 1) Paredes antisísmicas

Este método es aplicable en el caso de cepas tipo pórtico. En estos casos, se construye una pared interior entre las columnas de las cepas. Por otra parte, si las fundaciones son de tipo cajón o la cepas son tipo columnas independientes, se deben unir mediante vigas travesaño para evitar que los cabezales de éstas se deformen.

#### 2) Aporticado de cepas

Se aplica en el caso de que la cepa esté compuesta por columnas esbeltas. En éstos casos se instalan vigas travesaño a media altura de las columnas para unir las y darles una mayor resistencia.

#### 3) Revestimiento de hormigón armado

Se reviste la cepa con capas considerables o delgadas paredes de hormigón armado.

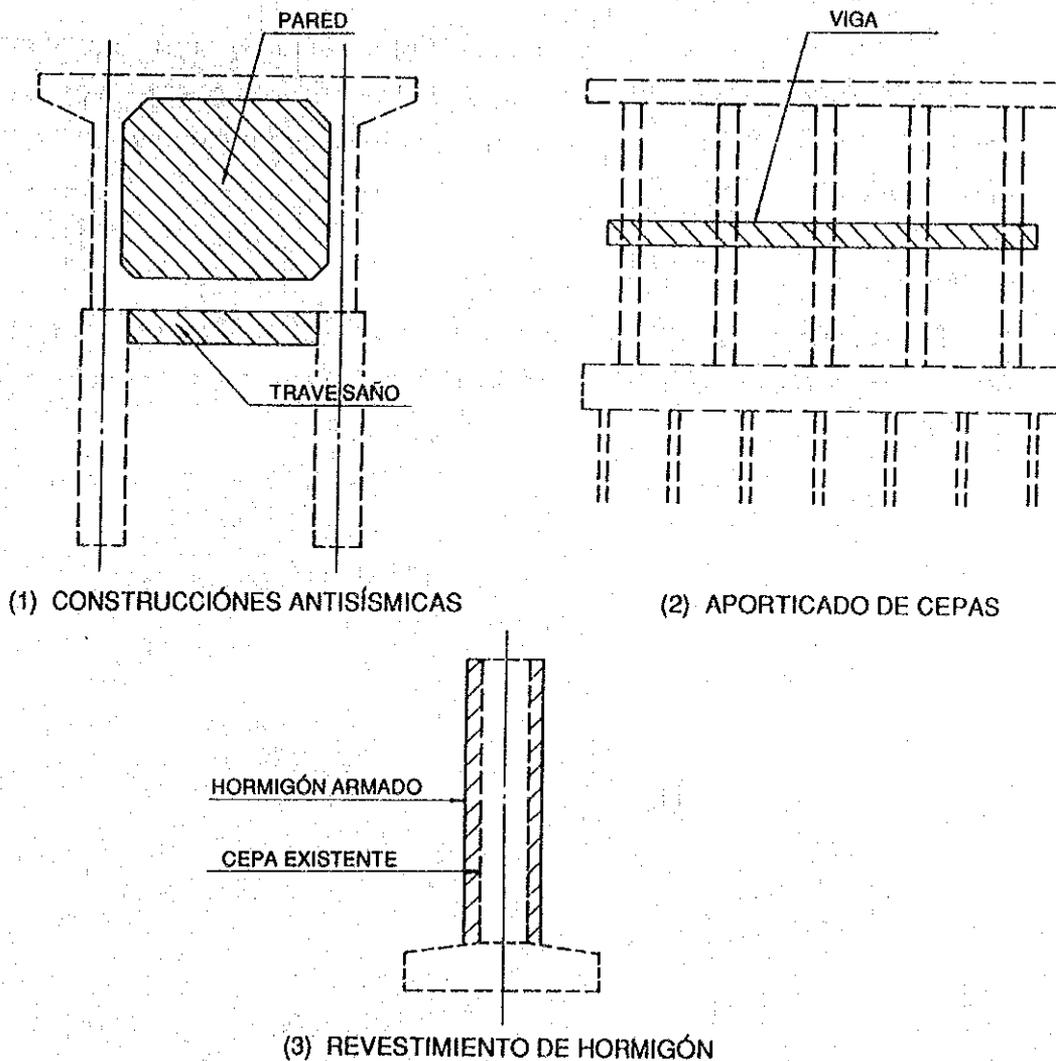


Figura 8-26

#### **8-8-4 Cepas-pilote**

Se conocen así a las cepas que están compuestas por pilotes que se extienden hasta la superficie cumpliendo a su vez funciones de cepas.

##### **1) Revestimiento de hormigón armado**

Este método se aplica para reforzar las cepas-pilote o cuando las dimensiones de éstas son insuficientes. Para esto, se refuerza cada cepa con una capa de hormigón armado, o se transforma todo el conjunto en una cepa-pared.

##### **2) Pilotes adicionales**

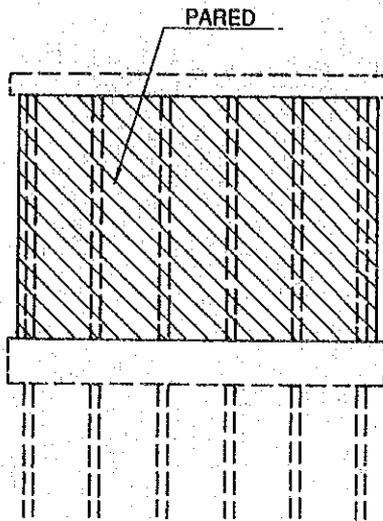
Se aplica cuando la capacidad portante de los pilotes es insuficiente. Para esto, se hincan pilotes adicionales en forma paralela y lateral a los existentes, y luego se los comunica a manera de un pórtico mediante una cabeza o dado de pilotaje.

##### **3) Cambio a pórtico rígido**

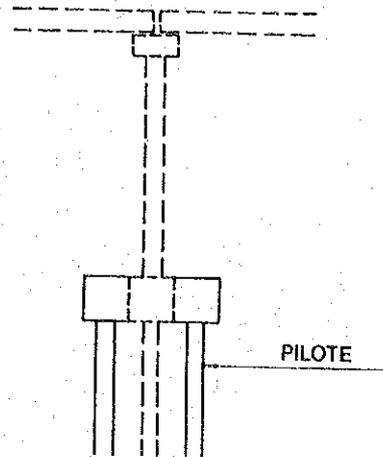
En este método, a fin de impedir deformaciones de la infraestructura durante la acción de un terremoto, se unen las cabezas de apoyo de las cepas con la superestructura mediante anclajes, transformando todo el conjunto en un pórtico longitudinal.

##### **4) Unión de las cepas mediante tirantes**

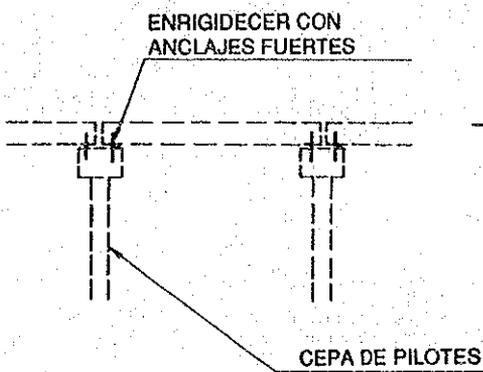
En este caso, se trata de impedir las deformaciones de la infraestructura mediante tirantes longitudinales que unen los cabezales de las cepas entre sí, y con los estribos.



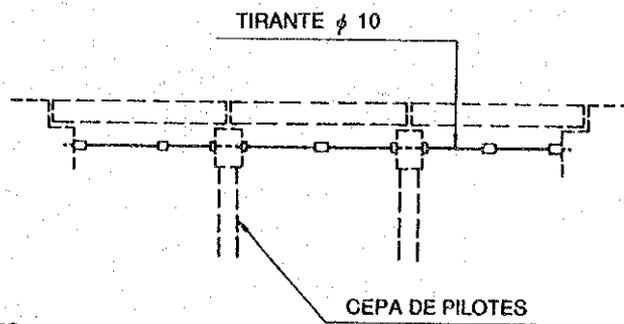
(1) CONSTRUCCIONES ANTISÍSMICAS



(2) ADICIÓN DE PILOTES



(3) CAMBIO A PORTICO LONGITUDINAL



(4) UNION PILARES CON TIRANTES

Figura 8-27





JICA