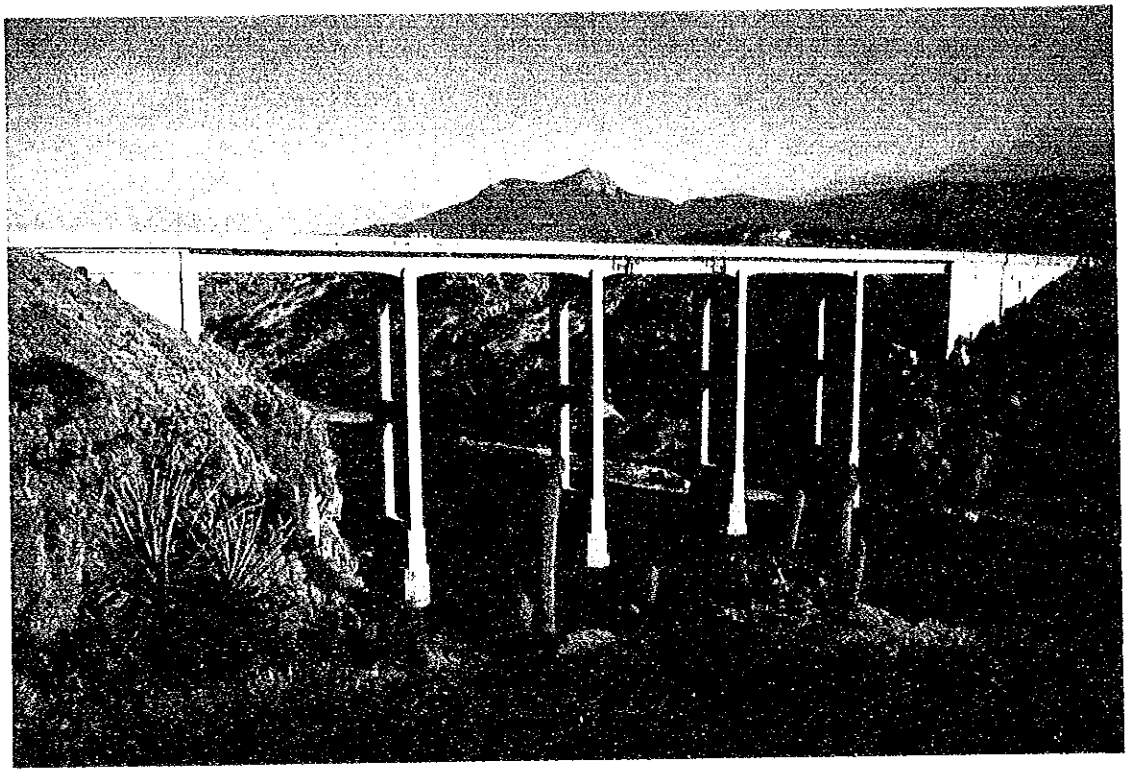
社会開発調査部報告書

No. 102

Proyecto de Rehabilitacion y Conservacion de Puentes en la Republica de Chile



Sinopsis del Informe Final

JICA
704
61.5
SSF
LIBRARY

Marzo de 1993

Agencia de Cooperación Internacional de Japón

SSF
JR
93—034

JICA LIBRARY
1104639[8]

24984

Proyecto de Rehabilitación y Conservación de Puentes en la Republica de Chile

Informe Final
(Sinopsis)

Marzo de 1993

Agencia de Cooperación Internacional de Japón

国際協力事業団
24984

PROLOGO

En respuesta a la solicitud presentada por el Gobierno de la República de Chile, el Gobierno de Japón decidió la ejecucion del estudio para el "Proyecto de Rehabilitación y Conservación de Puentes en la República de Chile", y encomendó esto a la "Agencia de Cooperación International de Japón"(JICA).

Para este efecto, JICA envio tres veces un equipo de investigación dirigido por el Sr. Ing. Katsuyuki HIOKI Chodai Co.Ltda, para que ejecute el estudio durante el periodo Octubre de 1991 a Febrero de 1993.

El equipo de investigación sostuvo reuniones con los representantes del Gobierno de la Republica de Chile , en las reparticiones concernientes al proyecto, y condujo la ejecución de estudios en el terreno en el area comprendida por éste. Una vez que este equipo retornó a Japón, realizó otros estudios avanzados y finalmente fue preparado el presente informe.

Quiero hacer presente mi más profundo deseo por que el contenido de éste informe sirva para la implementacion del programa requerido, y que contribuya además, a fomentar y fortificar los lazos de amistad que relacionan a nuestros dos países.

Deseo expresar mi gratitud y el más sincero aprecio por los funcionarios representantes del Gobierno de la Republica de Chile que participaron en el proyecto, por su estrecha y esforzada cooperación que presentaron al equipo de investigacion.

Marzo de 1993

Kensuke Yanagiya

Kensuke YANAGIYA
Presidente
Agencia de Cooperacion Internacional de Japón (JICA)

INDICE

1. INTRODUCCIÓN 1

1-1 ANTECEDENTES 1
1-2 SINOPSIS DEL ESTUDIO 2
1-2-1 OBJETIVO 2
1-2-2 RESUMEN DEL ESTUDIO 2
1-3 ORGANIZACIÓN DEL PROYECTO 5
1-4 REGIONES COMPRENDIDAS EN EL ESTUDIO 6

2. ESTUDIO PRELIMINAR DE PUENTES 7

2-1 ESTUDIO PRELIMINAR DE PUENTES 7
2-1-1 RESUMEN DEL ESTUDIO PRELIMINAR 7
2-1-2 MÉTODO DEL ESTUDIO PRELIMINAR 7
2-1-3 RESULTADOS DEL ESTUDIO 28
2-2 ESTUDIO HIDROLÓGICO 35

3. ESTUDIO ESPECIALIZADO DE PUENTES 37

3-1 ESTUDIO ESPECIALIZADO DE PUENTES 37
3-1-1 RESUMEN DEL ESTUDIO ESPECIALIZADO 37
3-1-2 MÉTODO DE EJECUCIÓN DEL ESTUDIO ESPECIALIZADO 41
3-1-3 RESULTADOS Y COMENTARIOS DEL ESTUDIO 42
3-2 ENSAYO DE CARGAS 47
3-2-1 DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO DE CARGAS 47
3-2-2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS 49

4. DISEÑO DE REHABILITACIÓN Y ESTIMACIÓN DE COSTOS 51

4-1 NORMAS BÁSICAS DE DISEÑO 51
4-2 CRITERIO DE DISEÑO PARA LAS REPARACIONES Y RESULTADOS DEL ESTUDIO 52
4-3 RESUMEN DEL DISEÑO DE REHABILITACIÓN 60

5. PROPOSICIÓN DEL PLAN DE REHABILITACIÓN DE PUENTES 63

5-1 CRITERIOS DE LA PROPOSICIÓN 63
5-1-1 PLAN DE REHABILITACIÓN DE PUENTES EN CHILE 63
5-1-2 PROPOSICIÓN DEL PLAN DE REHABILITACIÓN DE PUENTES 64
5-2 PLAN DE REHABILITACIONES PARA PUENTES DE LA RUTA 5 65

6. GUIA DE INSPECCIÓN PARA EL MANTENIMIENTO DE PUENTES 67

7. SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE MANTENIMIENTO DE PUENTES 69

7-1 CONCEPTOS BÁSICOS DEL SISTEMA 69
7-2 ESTRUCTURA DEL SISTEMA 70
7-3 FUNCIÓNES BÁSICAS DEL SISTEMA 71

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 77

8-1 CONCLUSIONES 77
8-2 RECOMENDACIONES 80

Lista de Tabla

Tabla 2-1:	HOJA DE INSPECCIÓN
Tabla 2-2(1):	PUENTES CON GRADO DE DETERIORO CLASIFICADO EN RANGO 4
Tabla 2-2(2):	PUENTES CON GRADO DE DETERIORO CLASIFICADO EN RANGO 5
Tabla 3-1:	PUENTES OBJETIVO DEL ESTUDIO ESPECIALIZADO
Tabla 3-2:	PROBLEMAS DE LOS PUENTES
Tabla 3-3:	RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON LA MEDICIÓN MEDIANTE INSTRUMENTOS ESPECIALES
Tabla 3-4:	RESUMEN DE LAS CAUSAS DE DEFORMACIONES
Tabla 3-5:	CAUSAS QUE PRODUCEN LAS DEFORMACIONES EN CADA PUENTE
Tabla 3-6:	RESULTADOS ESTIMATIVOS DE LA VIDA DE FATIGA (en años)
Tabla 4-1:	RESUMEN DEL ESTADO DE LOS PUENTES
Tabla 4-2:	VOLÚMENES DE TRAFICO EN LOS PUENTES SELECCIONADOS
Tabla 4-3:	DETERIORO Y CONTRAMEDIDAS NECESARIAS
Tabla 4-4:	FACTORES INHERENTES AL DISEÑO
Tabla 4-5:	PARTES VULNERABLES A MOVIMIENTOS SÍSMICOS
Tabla 4-6:	TIPOS DE DEFORMACIONES OBSERVADAS
Tabla 4-7:	MÉTODOS DE REPARACIÓN Y REFUERZOS PARA LOS 10 PUENTES
Tabla 5-1:	PUENTES CUYA REHABILITACIÓN ES DE EMERGENCIA ABSOLUTA

Lista de Figura

Figura 1-1: ORGANIGRAMA DE LA ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO
Figura 1-2: REGIONES COMPRENDIDAS EN EL ESTUDIO
Figura 2-1: PUENTES UBICADOS EN LA 4a REGION
Figura 2-2: PUENTES UBICADOS EN LA 5a REGION
Figura 2-3: PUENTES UBICADOS EN LA REGION METROPOLITANA
Figura 2-4: PUENTES UBICADOS EN LA 6a REGION
Figura 2-5: PUENTES UBICADOS EN LA 7a REGION
Figura 2-6: PUENTES UBICADOS EN LA 8a REGION
Figura 2-7: PUENTES UBICADOS EN LA 9a REGION
Figura 2-8: PUENTES UBICADOS EN LA 10a REGION
Figura 2-9: HOJA DE MENSURA
Figura 2-10: FOTOGRAFÍAS FUNDAMENTALES
Figura 2-11: JUNTAS DE EXPANSIÓN
Figura 2-12: TERRAPLENES
Figura 2-13: MÉTODOS DE ENSANCHAMIENTO DE CALZADA
Figura 2-14: DEFECTOS EN ARTICULACIONES GERBER
Figura 2-15: CEPAS TIPO COLUMNA DE PUENTES EN ARCO
Figura 2-16: CONSTRUCCIÓN DE TRAVESAÑOS
Figura 3-1: PLANO DE UBICACIÓN DE LOS PUENTES OBJETIVO DEL ESTUDIO ESPECIALIZADO
Figura 3-2: DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE CARGAS
Figura 7-1: COMPOSICIÓN BÁSICA DEL SISTEMA
Figura 7-2: COMPOSICÓN DEL SOFIWARE
Figura 7-3: COMPOSICIÓN DEL HARDWARE
Figura 7-4: DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESAMIENTO EN EL "SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE MANTENIMIENTO DE PUENTES"
Figura 7-5: DIAGRAMA DE FLUJO DE LA ESTRUCTURA DE LAS FUNCIONES DE SALIDA AJUSTABLE

1. INTRODUCCIÓN

1-1 ANTECEDENTES

La República de Chile se extiende de norte a sur en una franja costera de 4.270 km. Limitado al este por la Cordillera de Los Andes y en la franja del Océano Pacífico por la Cordillera de la Costa. En el sentido Este-Oeste, el territorio es muy angosto, en su sección más ancha tiene apenas 150 km., y en la más angosta 80 km. El 80% de su superficie está cubierta por montañas y, especialmente en el norte y centro, hay una serie de picos altos.

Para el desarrollo económico regional de Chile es imprescindible contar con una red de transporte y comunicaciones que una los puertos de exportación con las zonas productoras, es decir las regiones productoras deben estar al alcance de los consumidores. En este momento, la República de Chile está recibiendo ayuda económica de organismos internacionales tales como el Banco Mundial y el BID para crear una infraestructura vial apropiada. Dentro de esta estructura es especialmente importante la carretera Panamericana que recorre todo el territorio de Norte a Sur y que está entrelazada por varias carreteras que la atraviesan y que conforman el núcleo de la red de transporte y exportaciones. Sin embargo, hay un gran número de puentes viejos que están sufriendo los efectos del paso del tiempo y que ponen en peligro la efectividad de la mencionada red de transporte.

Los puentes que conforman la red vial chilena empezaron a construirse en los años 1930 y en la actualidad hay unos 8.000 puentes. Sin embargo, con 55 volcanes activos, Chile es uno de los países más afectados por los terremotos. Este es un problema grave dado que acorta la vida útil de los puentes. Este problema, junto con el de los ríos cuyo origen está en la cordillera y que tienen una corriente fuerte que va socavando las fundaciones, son dos de los problemas más graves que deben tenerse en cuenta en la administración del mantenimiento de los puentes.

El Ministerio de Obras Públicas está realizando un nuevo inventario de puentes a lo largo de la carretera Panamericana, para proceder a mejorar su mantenimiento. A partir de este inventario, se podrá empezar a crear un sistema de administración para el mantenimiento y rehabilitación de todos los puentes. Además, para que la administración del mantenimiento de los puentes se pueda ejecutar en forma más efectiva, será necesario contar con una información detallada de cada puente en una "Base de Datos" estructurada en un sistema de información completo, que describa la estructura y características de cada uno de los puentes en el territorio nacional. Hasta ahora, el libro mayor del inventario de puentes, el libro mayor de inspecciones, el registro de rehabilitaciones, etc. han sido compilados individualmente. Su

incorporación en un sistema general de puentes permitirá racionalizar la relación costos-prestaciones para optimizar la administración del mantenimiento de puentes.

Es dentro de este contexto que el Ministerio de Obras Públicas ha encomendado al Japón el estudio geológico, topográfico y de resistencia a los terremotos de los puentes que conforman la red vial nacional, debido a que su tecnología es la más apropiada dados sus similares problemas volcánicos.

1-2 SINOPSIS DEL ESTUDIO

1-2-1 OBJETIVO

La presente investigación ha sido encomendada por el Gobierno de la República de Chile, para estudiar "in situ" los puentes sobre la carretera Panamericana y sobre los caminos principales de la red vial, en todo el territorio nacional excepto las regiones 11 y 12; con el fin de establecer un plan de inspecciones de mantenimiento y rehabilitación de los puentes, preparando un sistema unificado de administración con la ayuda de computadoras y de un sistema de base de datos.

En general podemos clasificar estos objetivos en:

1. Establecimiento de una metodología de administración del mantenimiento de puentes que sea el más apropiado para la República de Chile.
2. Estudio de los puentes "in situ", toma y clasificación de los datos para la administración de puentes, y establecimiento de un plan de reparaciones.
3. Actualización del libro mayor del inventario de puentes y creación de una base de datos.
4. Transferencia tecnológica a la contraparte chilena para la administración, inspección y mantenimiento de los puentes, mediante la ejecución de este estudio.

1-2-2 RESUMEN DEL ESTUDIO

Las investigaciones a realizar se pueden clasificar en los siguientes tres estudios.

1. Inspección del estado actual de los puentes, confección de un plan de rehabilitación de puentes.
2. Preparación de una guía de inspección para mantenimiento de puentes.
3. Creación de un sistema de administración y mantenimiento de puentes.

(1) Estudio del estado actual de los puentes, confección de un plan de rehabilitación

El estudio del estado actual de los puentes consiste de un estudio preliminar y un estudio especializado.

1) Estudio preliminar

Este estudio comprende de los estudios que se muestran a continuación, tomando como objetivo los 256 puentes ubicados sobre la Ruta No.5 y caminos principales entre la 4ª y la 10ª Región.

1. Inspección visual (deformaciones, deterioro y estado de envejecimiento).
2. Medición de las dimensiones básicas del puente.
3. Toma de fotografías.

A partir de este estudio se prepararon los planos generales de los puentes, y se efectuó la evaluación del estado de deterioro y características estructurales, además en lo concerniente a la administración del mantenimiento de puentes, se hizo un listado de los comentarios al respecto de los problemas observados.

2) Estudio especializado

En base a los resultados del estudio preliminar y su respectivo análisis, se eligieron 10 puentes para efectuar el estudio especializado, el cual está compuesto por los siguientes puntos.

1. Inspección del estado de envejecimiento de los materiales de que están conformados los puentes, tales como acero, hormigón, etc.
2. Estudio de deformaciones y mensuramiento de los puentes y obras aledañas.
3. Estudio geológico y de suelos.

En el caso de puentes ubicados sobre ríos, se realizó el estudio hidrológico y de los efectos que causan a los puentes, y un examen de las contramedidas apropiadas al respecto. Por otra parte, se realizó el ensayo de cargas en el puente Peuco. Los ensayos efectuados en el puente Peuco, tuvieron por objeto el verificar las particularidades de este puente, recolectar los datos para examinar las probabilidades de falla por fatiga, y de hacer una presentación de las últimas técnicas al respecto del ensayo de cargas a los técnicos chilenos.

3) Confección de un plan de rehabilitación de puentes

Utilizando los resultados del estudio especializado se planteó una metodología de rehabilitación. Para esto se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones.

1. El propósito del plan es de restituir, no de mejorar, las funciones originales para las que fue construido el puente.
2. Este plan comprende el diseño de reparaciones que no toma en cuenta los cálculos estructurales de cada parte del puente.
3. No tomar en cuenta solo los daños de la estructura, sino también otros factores que afecten al puente, tales como las condiciones naturales, volúmenes de tráfico, y otros.

(2) Preparación de una guía de inspección para mantenimiento de puentes

La finalidad del mantenimiento de puentes es de conservar las funciones del puente, desde el momento de su construcción hasta que su reposición se juzgue necesaria. Por esta razón, se ha preparado una "Guía de Mantenimiento de Puentes" para que sirva de referencia a los técnicos encargados de obras y para promover las actividades de la administración en mantenimiento de puentes. Esta Guía incluye los siguientes aspectos.

1. Definiciones de las palabras empleadas en la administración del mantenimiento de puentes.
2. Método de inspección visual.
3. Método y criterios de evaluación de los resultados de la inspección.
4. Métodos estándar de rehabilitación.
5. Metodología del estudio especializado.
6. Ejemplos de métodos de rehabilitación.

(3) Creación de un sistema de administración y mantenimiento de puentes

Un computador es absolutamente necesario si es que se quiere establecer un plan racional y científico para la rehabilitación de todos los puentes del sistema vial. El presente estudio pretende utilizar un microcomputador para la creación de una "Base de Datos" sobre las especificaciones de todos los puentes y para crear un sistema para la evaluación del grado de deterioro, y prioridades de rehabilitación, y cálculo de costos de rehabilitación.

1-3 ORGANIZACIÓN DEL PROYECTO

La ejecución del presente estudio se llevó a cabo parcialmente en la República de Chile y parcialmente en Japón. La organización del estudio estuvo conformada por un equipo de investigación organizado por JICA, y por una contraparte designada por los organismos gubernamentales chilenos.

La figura 1-1 muestra el organigrama de esta organización.

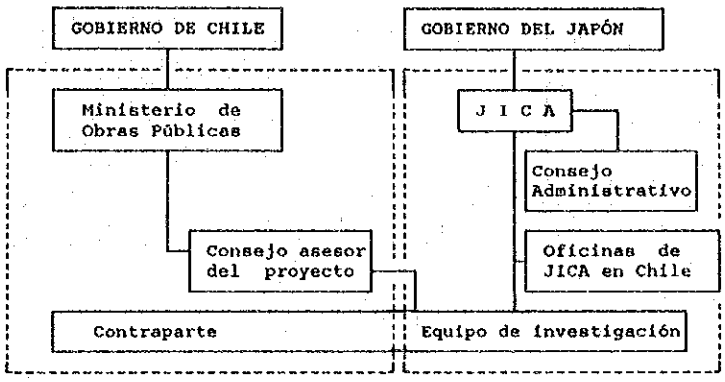


Figura 1-1: ORGANIGRAMA DE LA ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO

1-4 REGIONES COMPRENDIDAS EN EL ESTUDIO

El estudio comprende a todos los puentes ubicados a lo largo de la Ruta No.5 (carretera Panamericana) y caminos principales de todo el territorio nacional, excepto de las regiones 1, 2, 3 al norte y las regiones 11 y 12 al sur (Figura 1-2).

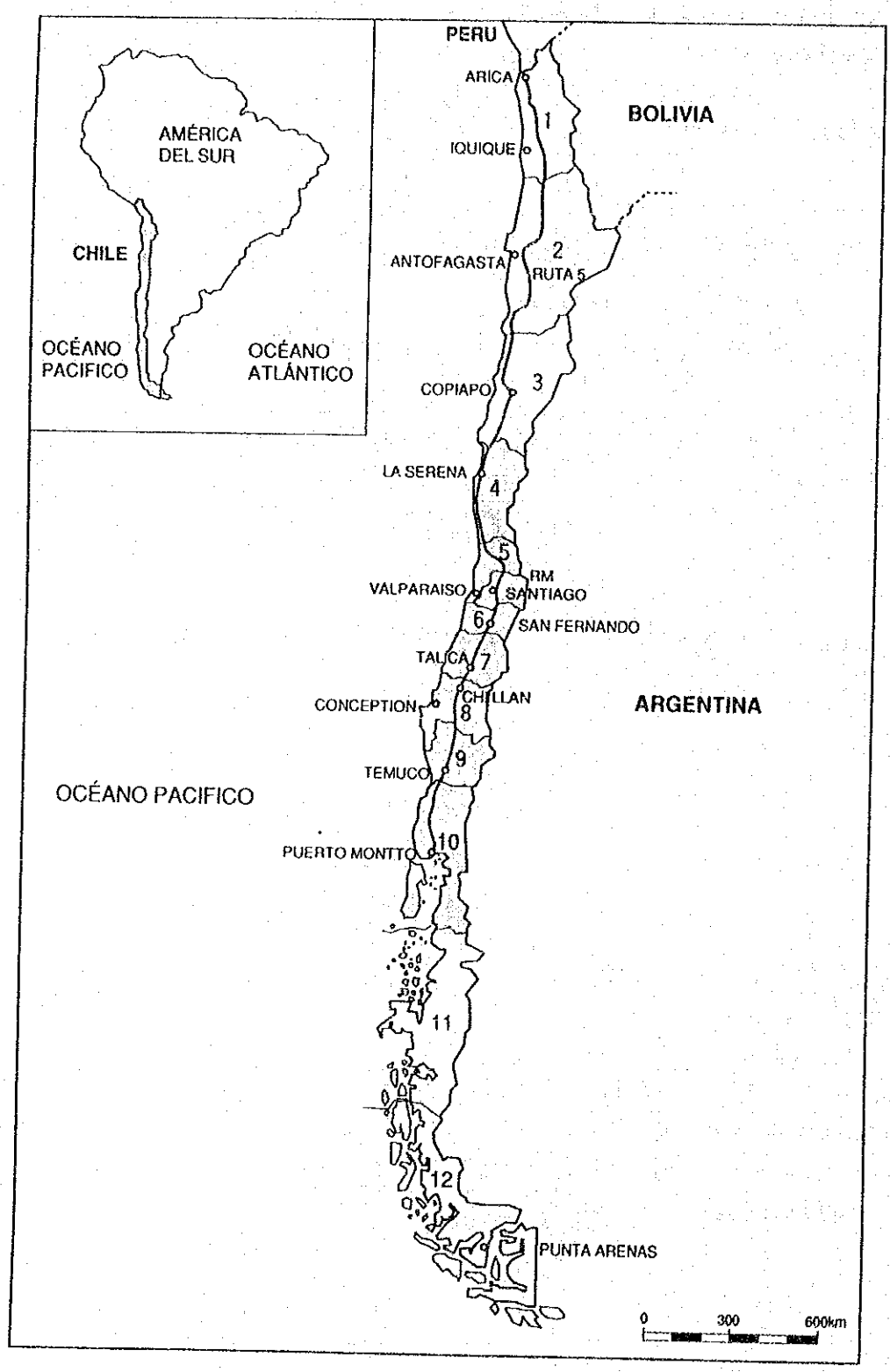


Figura 1-2 : REGIONES COMPRENDIDAS EN EL ESTUDIO

2. ESTUDIO PRELIMINAR DE PUENTES

2-1 ESTUDIO DE PUENTES

2-1-1 RESUMEN DEL ESTUDIO PRELIMINAR

El estudio preliminar fué ejecutado por tres grupos de investigación. Inicialmente el estudio comprendía un total de 240 puentes ubicados sobre la Ruta 5 entre la IV y la X Región, según los requerimientos del Ministerio de Obras Públicas (MOP); luego en reunión previa a las inspecciones, se adicionó la condicional de que los puentes objetivo estarán comprendidos por todos los puentes cuya longitud sea mayor o igual a 10m. Por esta razón, existe una ligera diferencia entre la lista inicial de los puentes objetivo del estudio, y la de los que en realidad se estudiaron. En las Figura 2-1 a 2-8 se muestran los nombres de los puentes que fueron estudiados; las Figura 2-1 a 2-8 (246 puentes) corresponden a los ubicados sobre la Ruta 5, y no están sobre la Ruta 5 (10 puentes), formando un total de 256 puentes para el estudio.

2-1-2 MÉTODO DEL ESTUDIO PRELIMINAR

Puesto que el estudio se realizó con tres grupos de investigación, quienes distribuidos a lo largo de 2000km de norte a sur deberían inspeccionar, evaluar el estado de deterioro, tomar la dimensiones fundamentales, y fotografiar los puentes, el uniformizar la información fué un trabajo clave del estudio. Para este efecto, a fin de evitar diferencias entre los datos obtenidos por cada grupo, se preparó una hoja de inspección estándar previamente al trabajo en el terreno; luego, se efectuaron inspecciones conjuntas e intercambio de opiniones hasta uniformizar criterios. Para el estudio preliminar se prepararon los sigientes formularios:

(1) Hoja de inspección

Con el objeto de evitar que las partes e ítemes a inspeccionar varíen según el inspector encargado, se preparó una "hoja de inspección". Los ítemes comprendidos en esta hoja coinciden con los del formulario del inventario de puentes, y con los de la matriz de evaluación que se utilizó en la evaluación del estado de deterioro. Cabe señalar que para la preparación esta hoja se recurrió al intercambio de opiniones entre todos los grupos lográndose la selección de ítemes requeridos, etc.(ver Tabla 2-1)

(2) Hoja de mensura

Debido a la inexistencia de planos de una gran mayoría de los puentes correspondientes al estudio, y a la incertidumbre de muchos datos requeridos para la "Base de Datos", se procedió a la medición de las dimensiones básicas de todos los puentes del estudio. Para esto, y para uniformizar las mediciones se elaboraron las deniminadas "hojas de mensura".(ver Figura 2-9)

(3) Hoja instructiva para el trabajo fotográfico

Las fotografías constituyen una valiosa información en este estudio. Por esta razón, para uniformizar las partes a fotografiar se estableció una secuencia estándar, para que por medio de éstas fotografías se pueda conocer la estructura o los daños del puente en general o de la superficie de rodado, vigas, losa, travesaños, estribos, cepas y otras partes que sean de importancia. Básicamente se determinó utilizar un film de 24 exposiciones por puente. Las fotografías obtenidas en esta sección fueron incluidas en el álbum del inventario de puentes. (ver Figura 2-10)

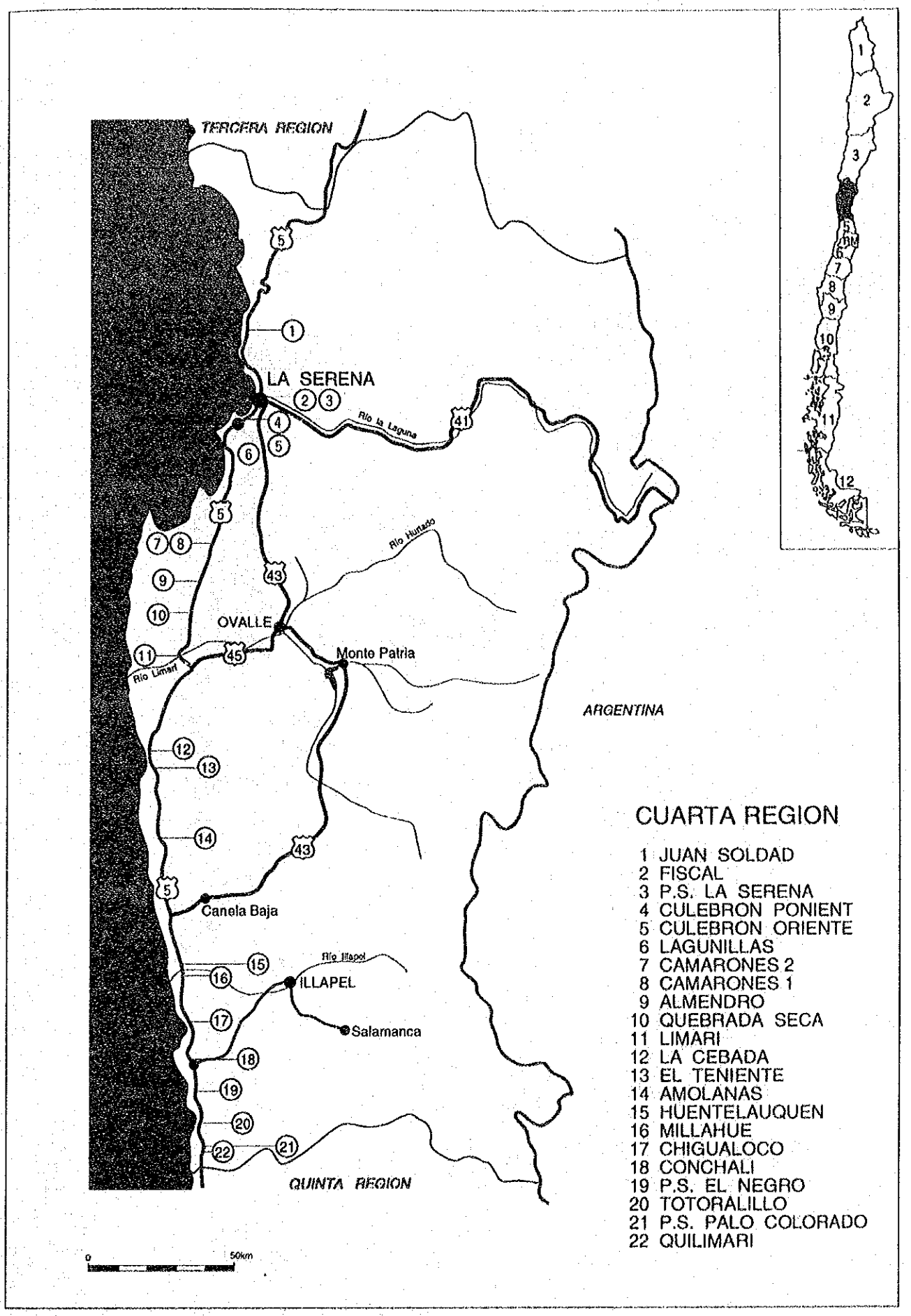


Figura 2-1 : PUENTES UBICADOS EN LA 4a REGION

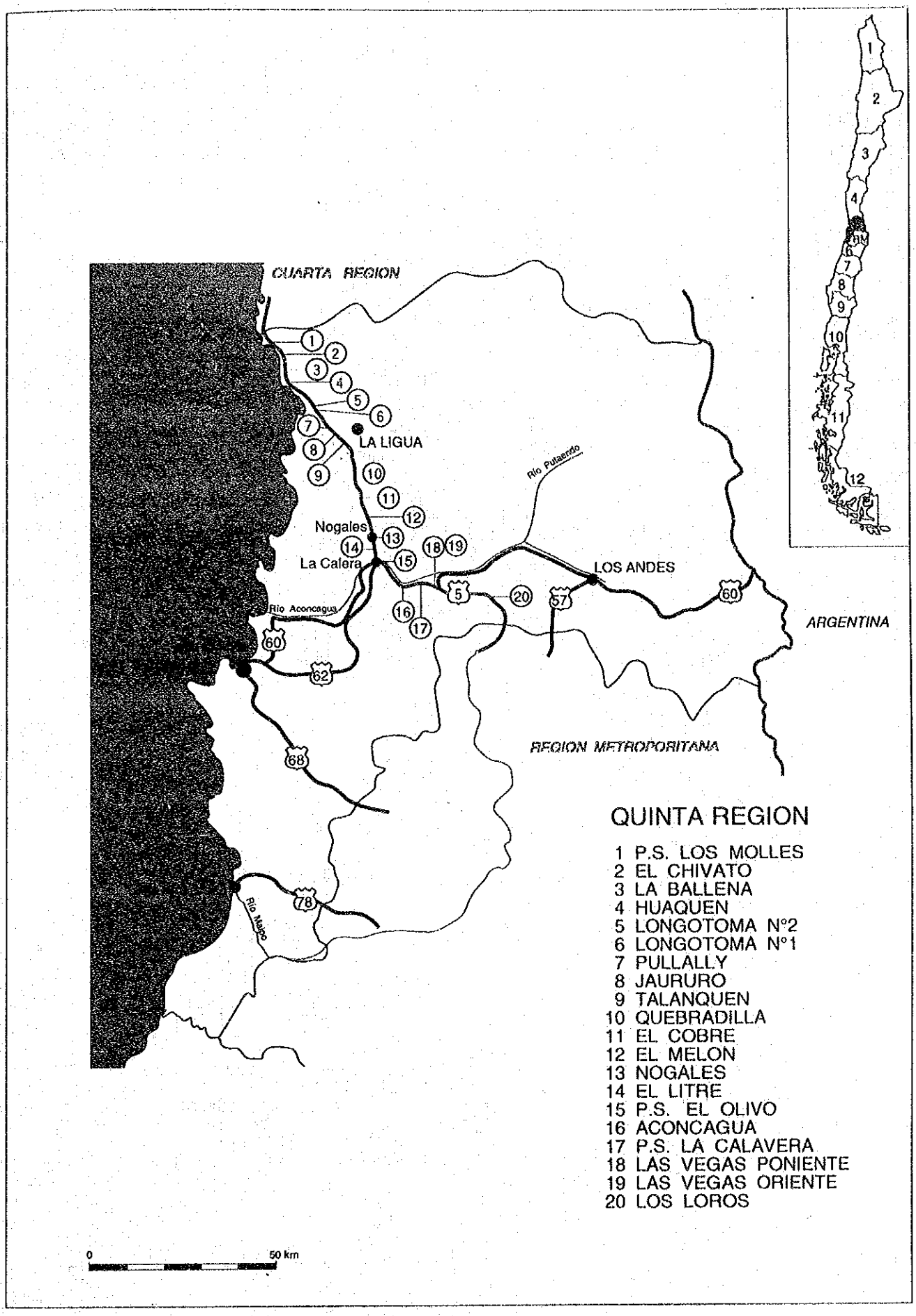
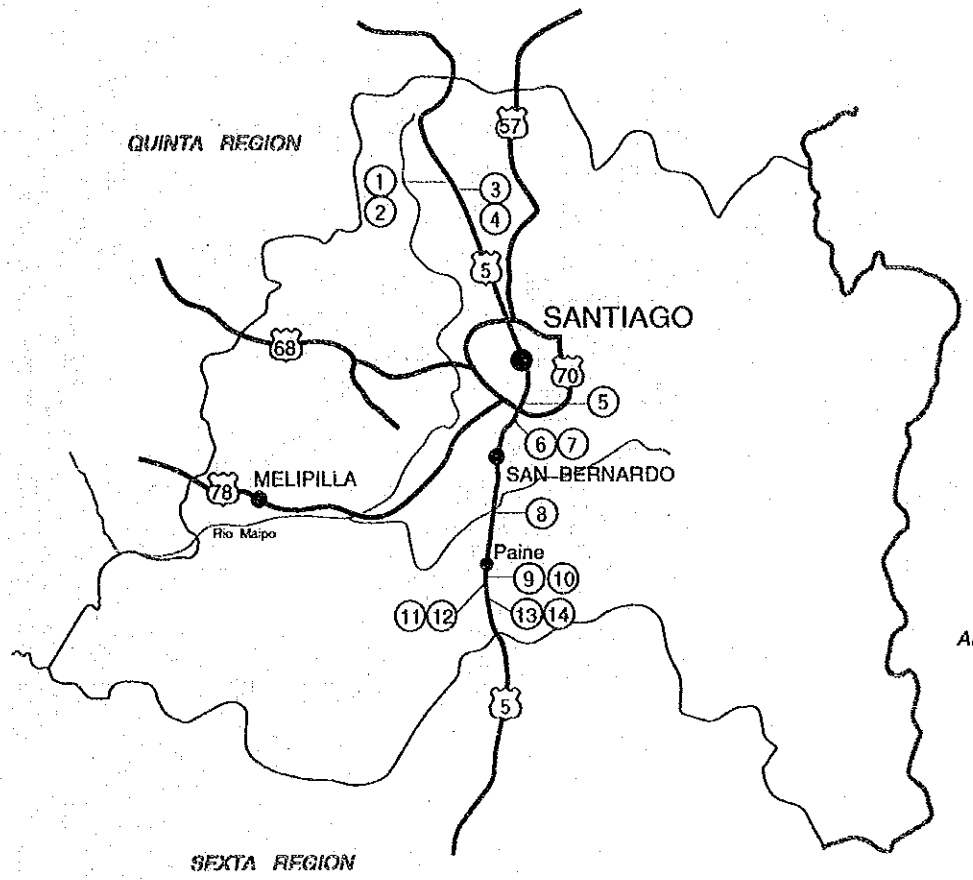


Figura 2-2 : PUENTES UBICADOS EN LA 5a REGION

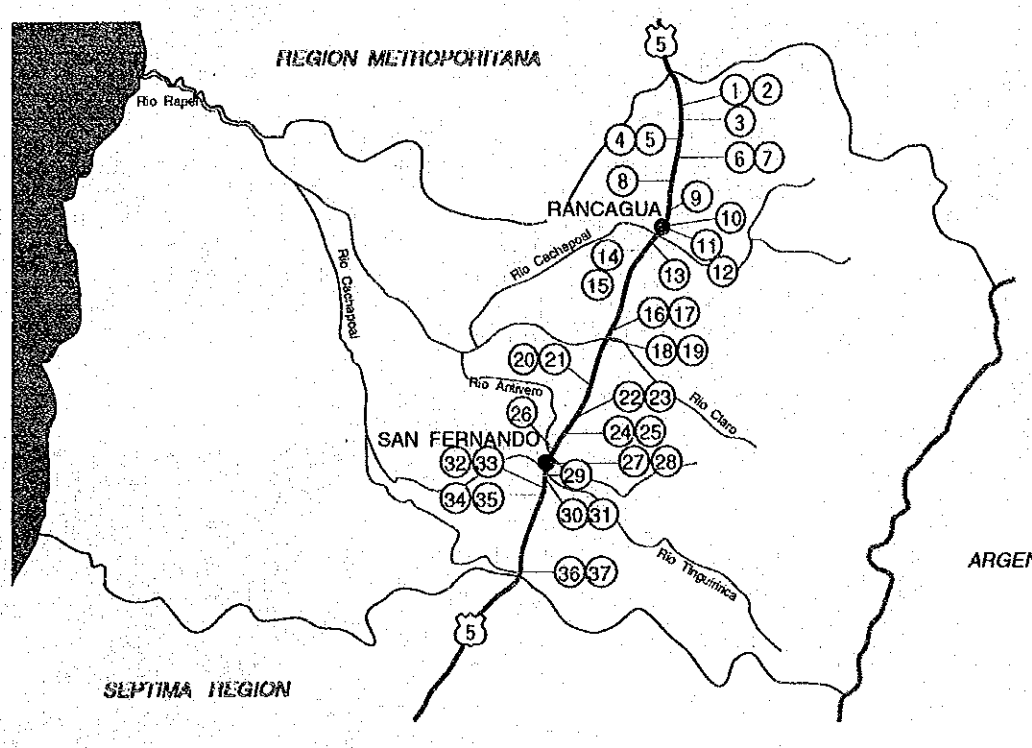


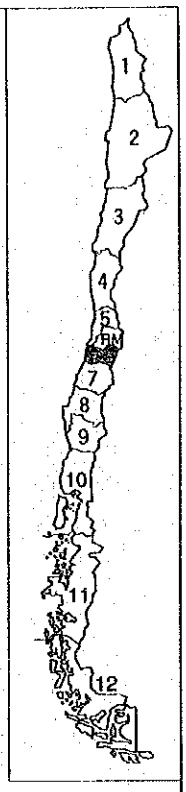
REGION METROPOLITANA

1 PEUCO ORIENTE
2 PEUCO PONIENTE
3 LO PINTO N°1
4 LO PINTO N°2
5 P.S. LO SIERRA
6 P.S. FF. CC. AL SUR N°1
7 P.S. FF. CC. AL SUR N°2
8 MAIPO
9 P.S. FF. CC. PAINE PONIENTE
10 P.S. FF. CC. PAINE ORIENTE
11 PAINE N°1
12 PAINE N°2
13 P.S. HOSPITAL ORIENTE
14 P.S. HOSPITAL PONIENTE

0 50 km

Figura 2-3 : PUENTES UBICADOS EN LA REGION METROPOLITANA





SEXTA REGION

1 PEUCO ORIENTE
2 PEUCO PONIENTE
3 TRONCO
4 STA BLANCA PONIENTE
5 STA BLANCA ORIENTE
6 BENITO N°1
7 BENITO N°2
8 CADENA
9 P.S. ALAMEDA
10 P.S. MACHALI
11 P.S. EL TTE. N°1
12 P.S. EL TTE. N°2
13 CACHAPOAL
14 P.S. LOS LIRIOS ORI.
15 P.S. LOS LIRIOS PON.
16 TIPAUME N°1
17 TIPAUME N°2
18 CLARO N°1
19 CLARO N°2
20 P.S. PELEQUEN PON.
21 P.S. PELEQUEN ORI.
22 RIGOLEMU ORI.
23 RIGOLEMU PON.
24 CHARQUICAN ORI.
25 CHARQUICAN PON.
26 P.S. SAN FERNANDO
27 ANTIVERO ORIENTE
28 ANTIVERO PONIENTE
29 P.S. TERMAS
30 TINGUIRIRICA ORI.
31 TINGUIRIRICA PON.
32 DESCARGA N°1 ORI.
33 DESCARGA N°1 PON.
34 DESCARGA N°2 ORI.
35 DESCARGA N°2 PON.
36 PEOR ES NADA ORI.
37 PEOR ES NADA PON.

0 50 km

Figura 2-4 : PUENTES UBICADOS EN LA 6a REGION

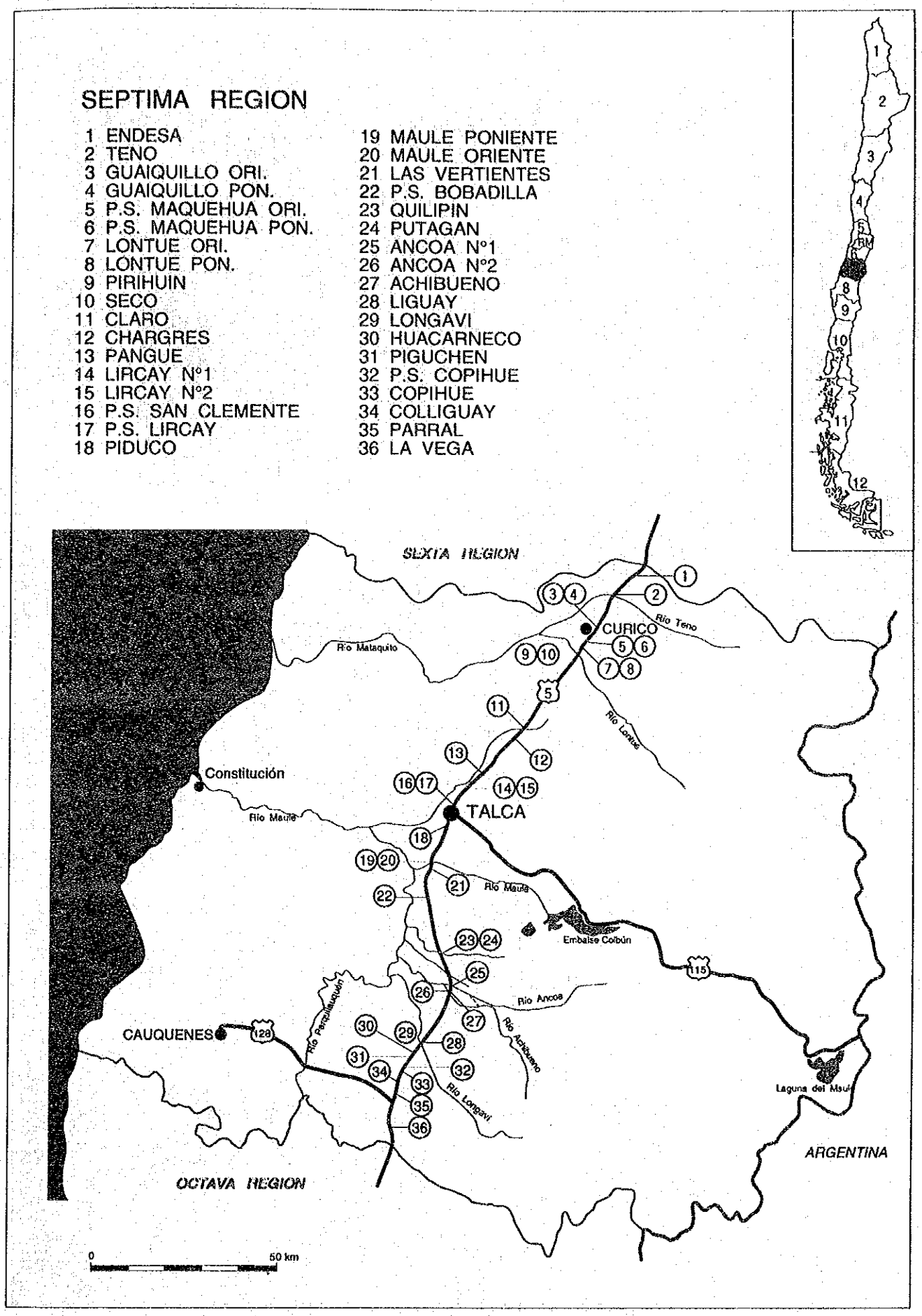


Figura 2-5 : PUENTES UBICADOS EN LA 7a REGION

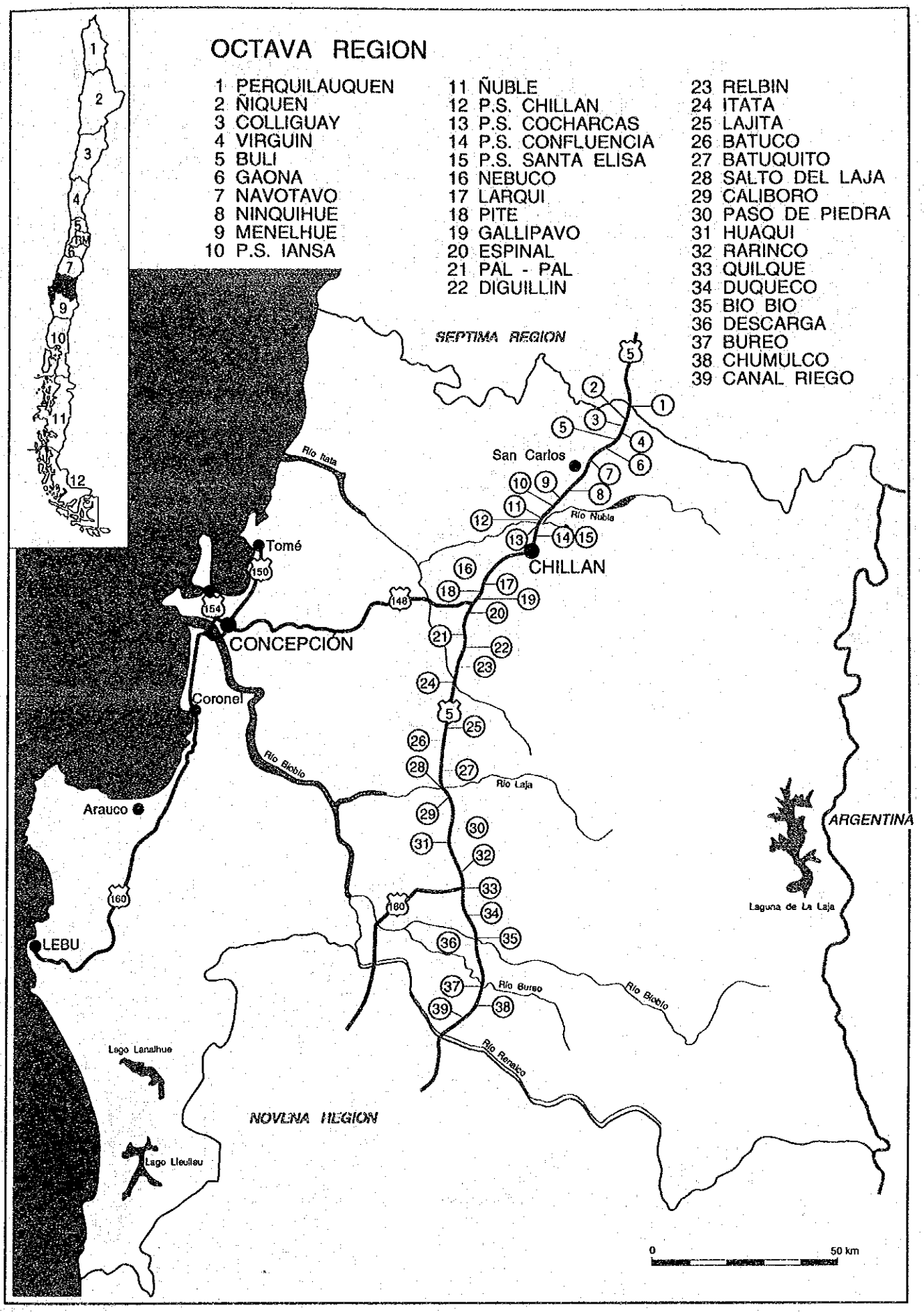


Figura 2-6 : PUENTES UBICADOS EN LA 8a REGION

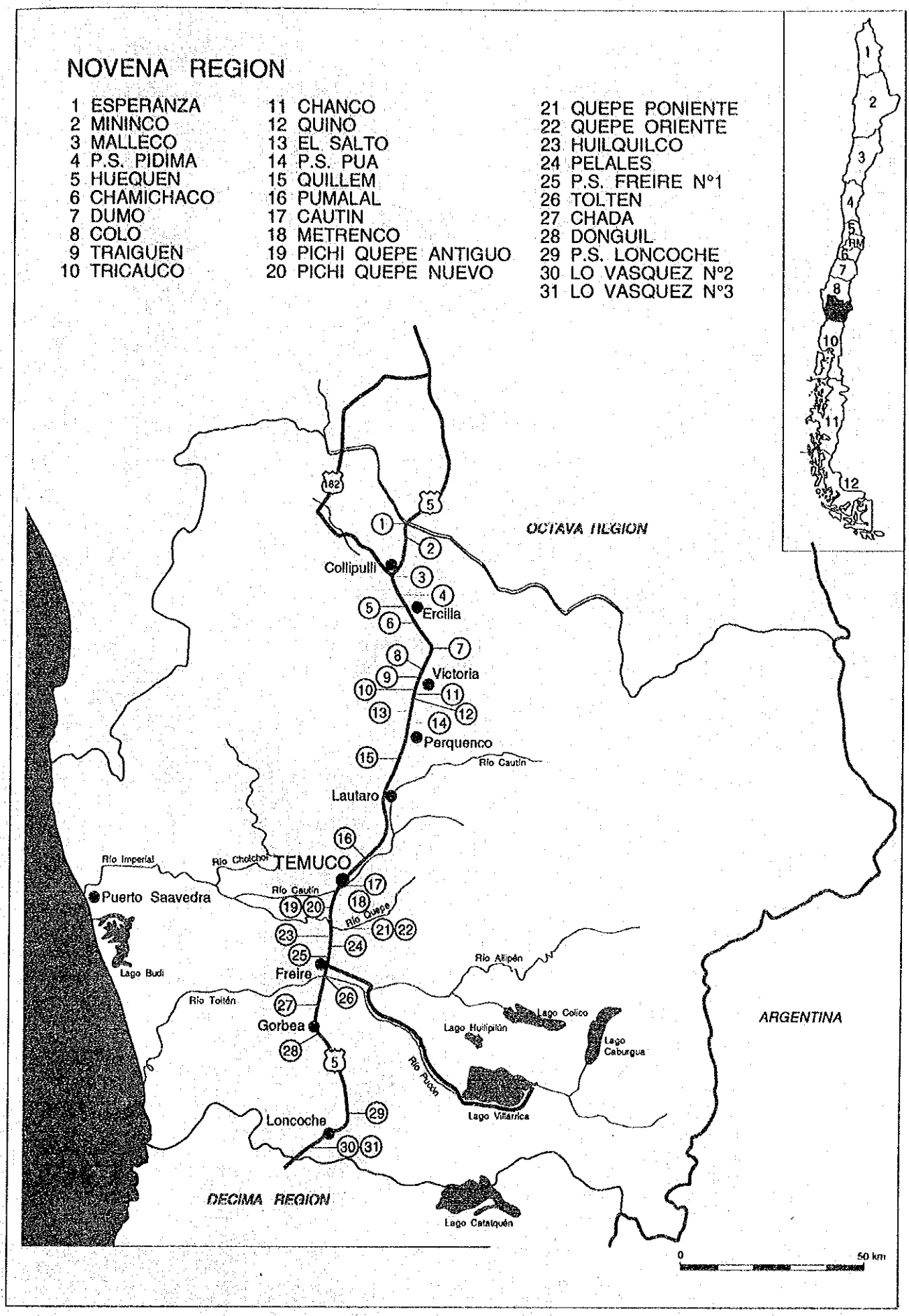


Figura 2-7 : PUENTES UBICADOS EN LA 9a REGION

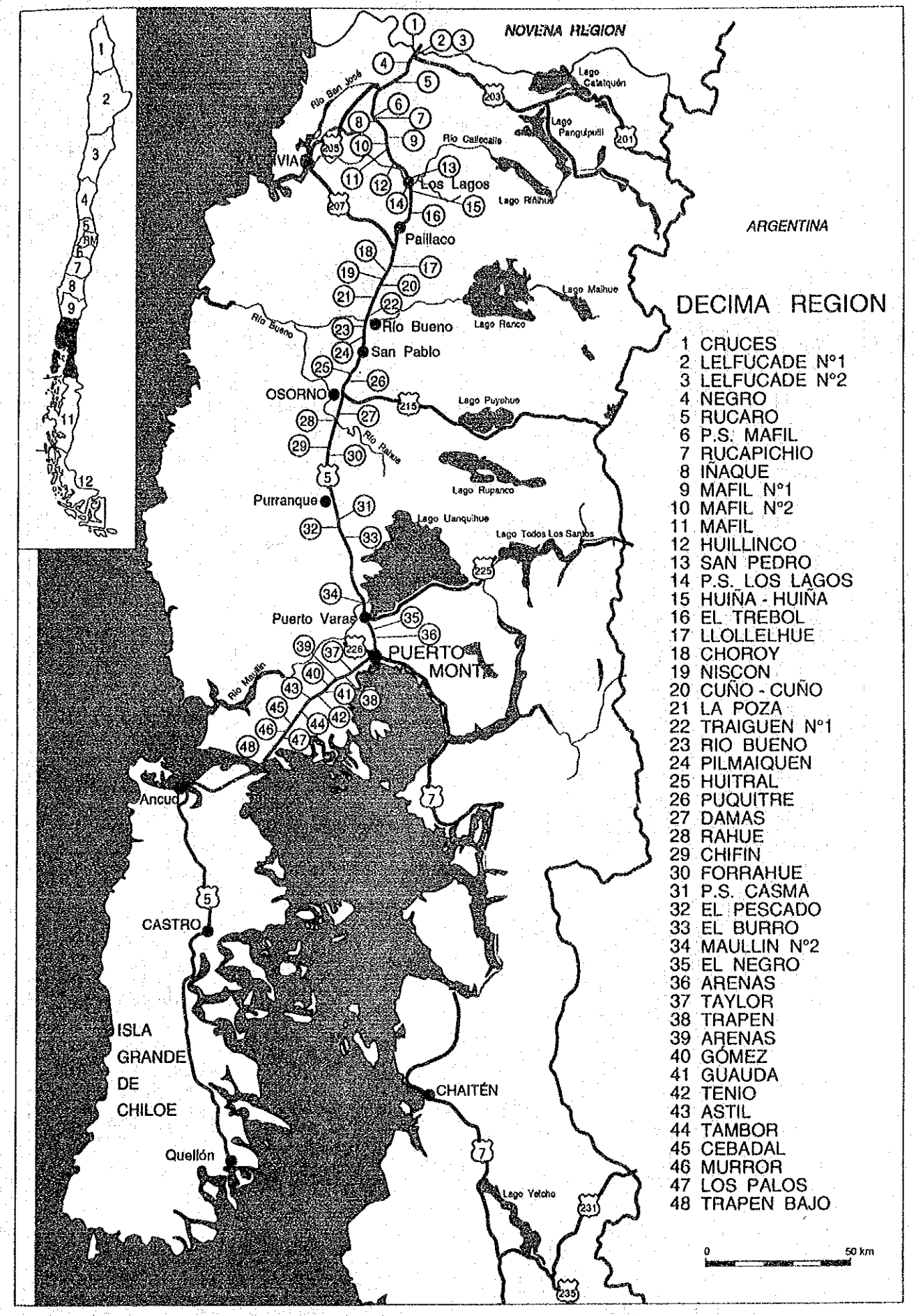


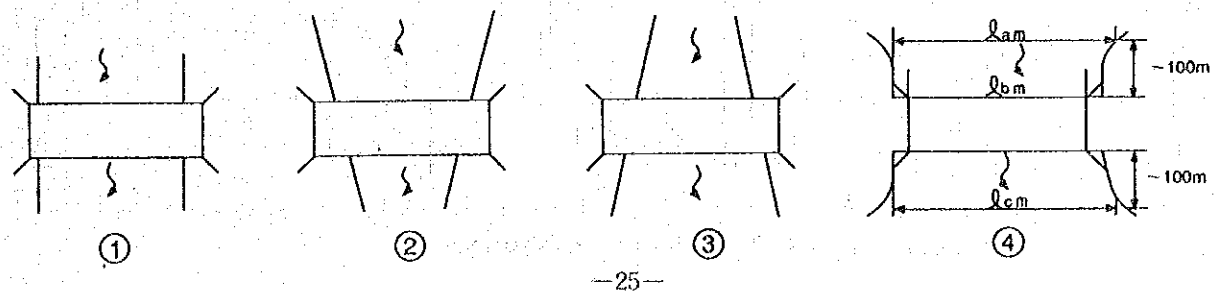
Figura 2-8 : PUENTES UBICADOS EN LA 10a REGION

Tabla 2-1 : HOJA DE INSPECCIÓN

CODIGO DEL PUENTE		NOMBRE		NOMBRE DEL CRUCE		NOMBRE DEL RIO	

Lagar de Inspeción : Nombre del inspector : Pagina No. dc

	TIPO DE DAÑO O DETERIORO Y SU CANTIDAD						
PAVIMENTO	ITEM	1 ALABEO	2 ENSURCADO O CARRILES	3 FISURAMIENTO	4 ASENTAMIENTO	5 OTROS	
	GRADO O CANTID						
BARANDAS	ITEM	1 DEFORMACION	2 OXIDAMIENTO	3 CORROSION	4 FISURAMIENTO	5 ARMADURA AL AIRE	6 OTROS
	GRADO O CANTID						
JUNTAS DE EXPANSION	ITEM	1 SONIDOS EXTRÑOS	2 FILTRACION DE AGUAS	3 DEFORMACION	4 MOVIMIENTOS VERTICALES	5 JUNTAS OBSTRUIDAS	6 OTROS
	GRADO O CANTID						
LOSA	ITEM	1 FISURAS EN UNA DIRECCION	2 FISURAMIENTO EN RED	3 DESCASCA RAMIENTO	4 ARMADURA AL AIRE	5 NIDOS DE PIEDRAS	6 EFLORES CENCIAS
	GRADO O CANTID						
RIOSTRAS (PTES. DE ACERO)	ITEM	1 OXIDAMIENTO	2 CORROSION	3 DEFORMACION	4 ROTURA DE LAS UNIONES	5 ROTURA DE ARRIOSTRAMIENTOS	6 OTROS
	GRADO O CANTID						
VIGAPRINCIPAL DE ACERO (EN CHERCHAS)	ITEM	1 OXIDAMIENTO	2 CORROSION	3 DEFORMACION	4 PERDIDA DE PERNOS	5 FISURAS EN SOLADURAS	6 OTROS
	GRADO O CANTID						
RIOSTRAS (PTES. CONCRETO)	ITEM	1 FISURAS EN UNA DIRECCION	2 FISURAMIENTO EN RED	3 DESCASCA RAMIENTO	4 ARMADURA AL AIRE	5 NIDOS DE PIEDRAS	6 EFLORES CENCIAS
	GRADO O CANTID						
VIGA PRINCIPAL DE CONCRETO	ITEM	1 FISURAS EN UNA DIRECCION	2 FISURAMIENTO EN RED	3 DESCASCA RAMIENTO	4 ARMADURA AL AIRE	5 NIDOS DE PIEDRAS	6 EFLORES CENCIAS
	GRADO O CANTID						
APOYOS	ITEM	1 ROTURA DEL APOYO	2 ROTURA DE ACCESORIOS	3 SALIDA DE ANCLAJES	4 ROTURA DEL DISCO	5 DEFORMACIONES RARAS	6 OTROS
	GRADO O CANTID						
ESTRIBOS	ITEM	1 GRIETAS O DESCASCARAM	2 FISURAS A PARTIR APOYO	3 ROTURA DEL PARAPETO	4 INCLINACIONES	5 SOCAVACIONES	6 OTROS
	GRADO O CANTID						
CEPAS	ITEM	1 GRIETAS O DESCASCARAM	2 FISURAS A PARTIR APOYO	3 DEFORM DE CANTILEVER	4 INCLINACIONES	5 SOCAVACIONES	6 OTROS
	GRADO O CANTID						
PINTURA	ITEM	1 DECOLORACION	2 OXIDAMIENTO	3 AMPOLLAMIENTO	4 DESCASCARAM	5 OTROS	
	GRADO O CANTID						
ARTICULACIONES DE VIGAS GERBER	ITEM	1 FISURAS EN UNA DIRECCION	2 FISURAMIENTO EN RED	3 AGRIETAMIENTO	4 ARMADURA AL AIRE	5 NIDOS DE PIEDRAS	6 EFLORES CENCIAS
	GRADO O CANTID						
OTROS	ITEM	1 DERRUMBE TALUD,ESTRIBO	2 DAÑOS POR IMPACTO ROCAS	3 DAÑOS EN CABO VIGAS	4 SE EFECTUO REPARACION?	5 OTROS	
	GRADO O CANTID						
COMENTARIOS ESPECIALES	1 EXISTIERON DESBORDAMIENTOS a. SI b. NO c. NO SE SABE			2. EXISTEN EMPRESTITOS DE MATERIAL a. SI b. NO			



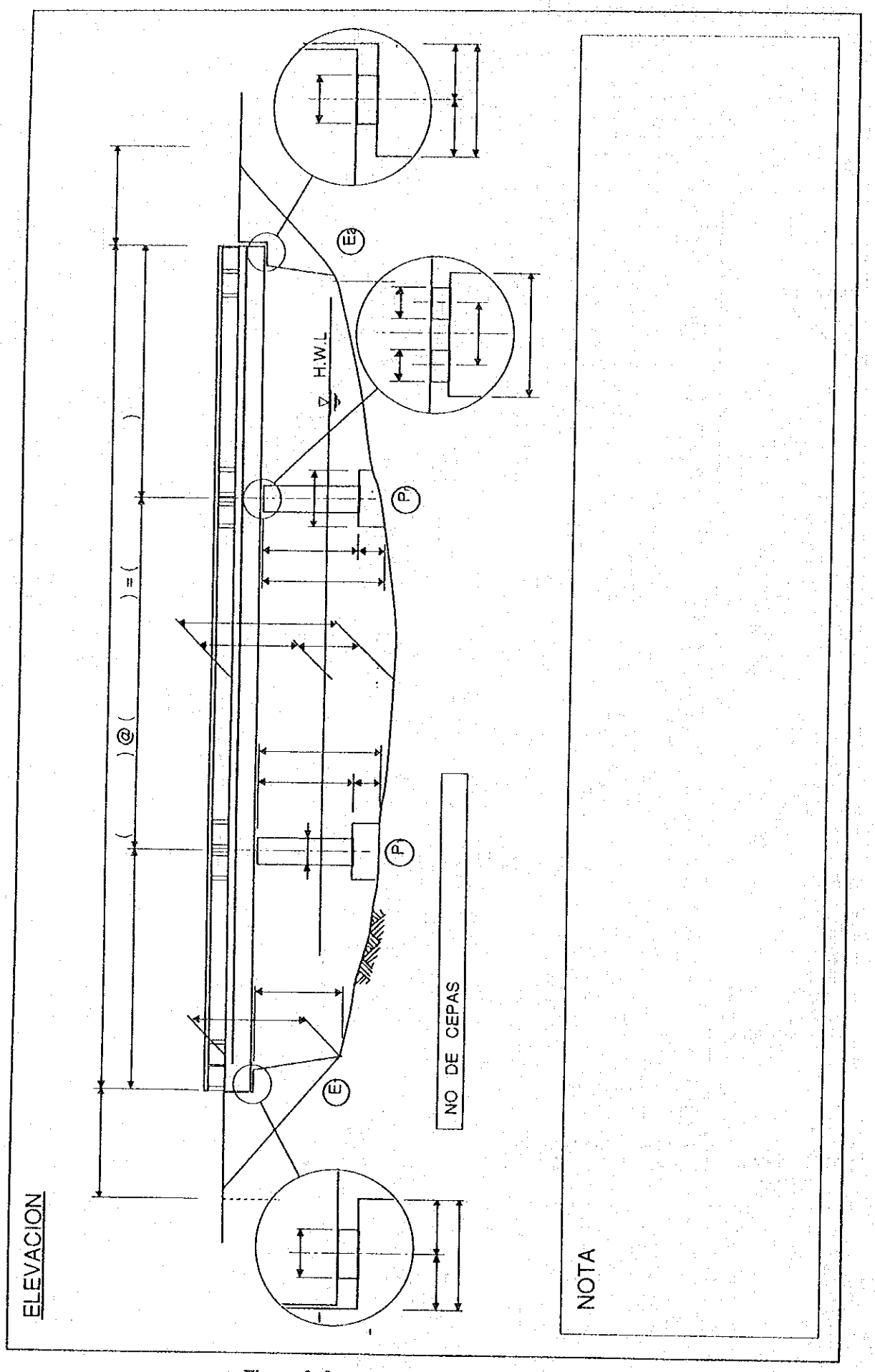


Figura 2-9 : HOJA DE MENSURA

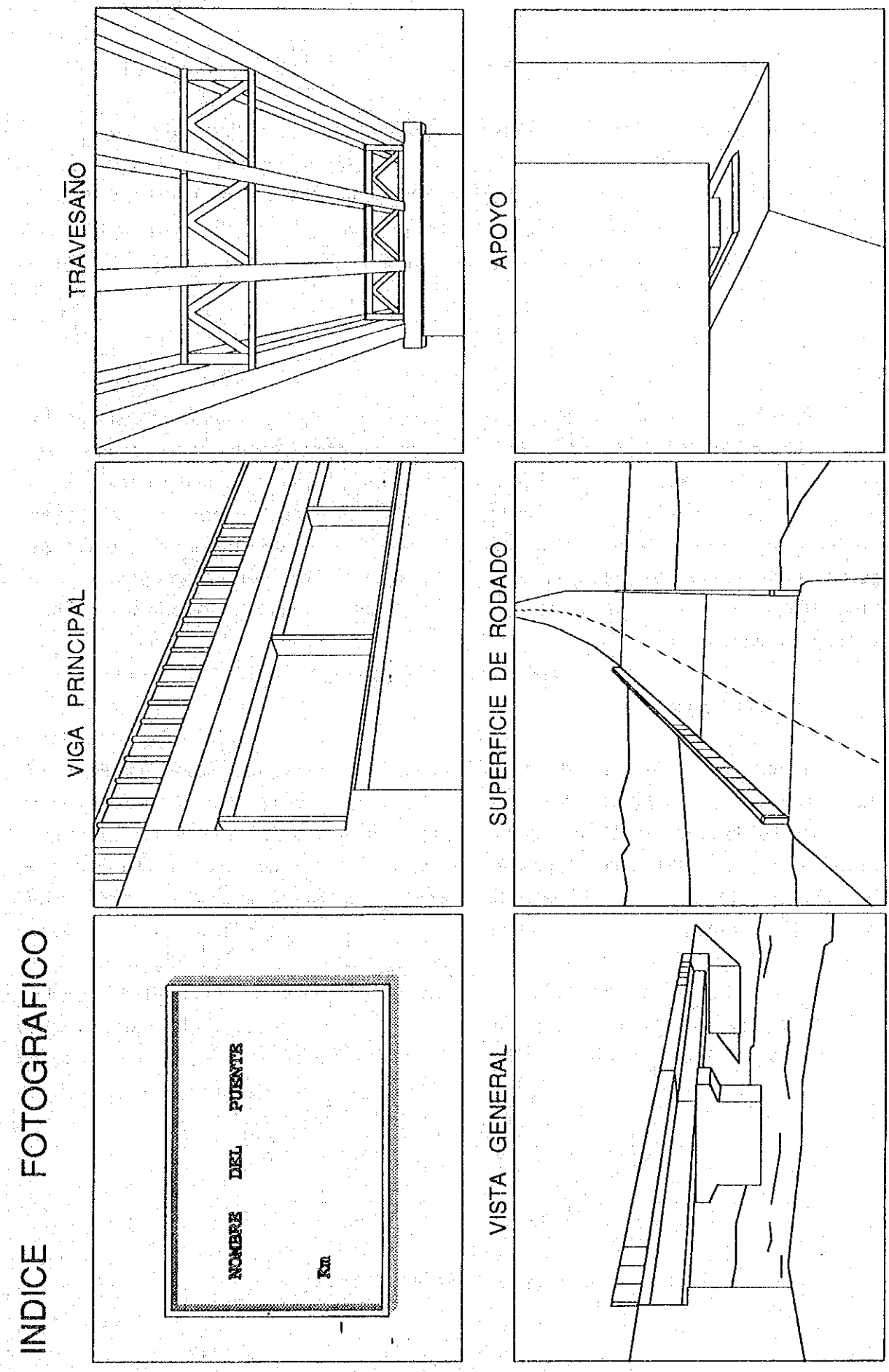


Figura 2-10 : FOTOGRAFÍAS FUNDAMENTALES

2-1-3 RESULTADOS DEL ESTUDIO

(1) Problemas generales de los puentes en Chile

A continuación se mencionan los problemas que generalmente que se observaron durante la inspección.

1) Problemas Comunes

1. Apoyo

Los puentes recién construidos tienen placas de apoyo de neopreno; sin embargo, los puentes con más de 10 años desde su construcción, no tienen un buen sistema de apoyo. Por esta razón, el impacto se transmite directamente a la infraestructura y las partes comprendidas en el punto de apoyo de la superestructura en la infraestructura (denominadas como apoyo normal) están dañadas considerablemente. Por otra parte, casi no se observaron apoyos que permitan el movimiento horizontal a la superestructura, factor que afecta mucho a las articulaciones de las vigas Gerber, etc. que fueron bastante utilizados en los puentes de Chile, y al puente en general.

2. Juntas de expansión

La mayoría de las juntas de expansión en Chile están compuestas por cantoneras con tapas metálicas (cover plate) soldadas en un extremo. Por lo observado, se cuestiona la confiabilidad de la fabricación de las juntas y de la soldadura de las tapas. Se observaron daños en casi todas las juntas de expansión, inclusive en aquellas que fueron construidas hace dos años, por lo tanto, se duda de su durabilidad. Además, se vio que debido a la mala calidad de fabricación se generan sonidos extraños, incremento del impacto, etc.

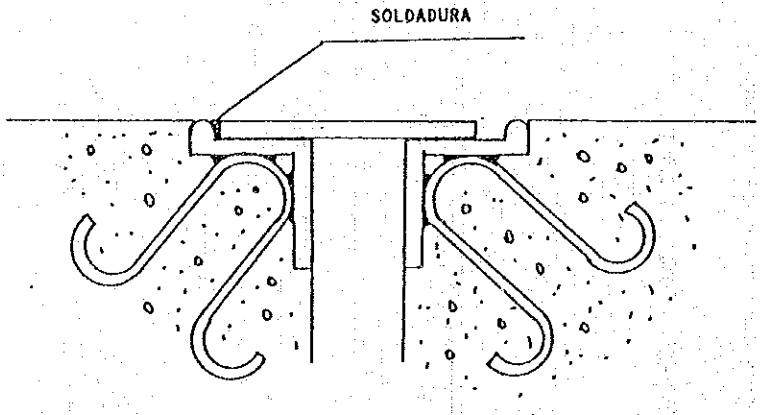


Figura 2-11 : JUNTAS DE EXPANSIÓN

3. Terraplenes

Los taludes de los muros de protección en los estribos, por lo general se encuentran en mal estado. Por esta razón, debido a que se producen deslizamientos de tierra del relleno de los taludes, se presenta la posibilidad de hundimientos de la parte frontal del terraplén, ya sean los estribos de tipo pared o con contrafuertes, que son bastante utilizados. Por lo tanto es importante se estudie el método de protección de los terraplenes.

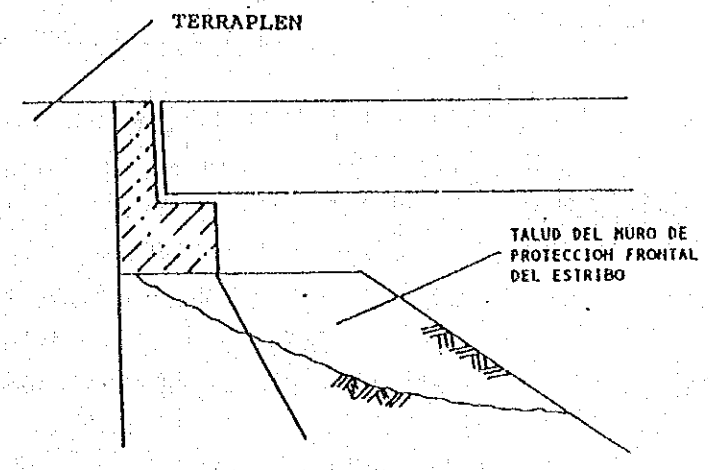


Figura 2-12 : TERRAPLENES

4. Fundaciones

Se tienen varios casos tales como las fundaciones de los puentes Maipo, Malleco, etc. que dan la impresión de no ser fundaciones destinadas a soportar actividad sísmica. Por otra parte, se observaron fundaciones, tales como el caso del puente Maule, con problemas de socavación crítica y con escasa profundidad de fundación.

En términos generales, se pudo observar que de alguna manera, muchos puentes pudieron resistir el efecto de los sísmos; sin embargo, puede considerarse que para los puentes de las regiones del sur, en especial la 10ª Región, debido a la insuficiente capacidad portante del suelo, sería importante desarrollar un estudio de los suelos de fundación para la ejecución de proyectos de construcción de puentes.

5. Diseño

Los métodos de diseño utilizados en Chile, básicamente se reducen al diseño unidimensional, aún en los casos en que la calzada o ancho de diseño es grande. El método de entramado o emparrillado, que es muy conocido, aún no se ha generalizado en Chile. Por esta razón, es importante destacar que en la mayoría de los casos no se cuenta con travesaños que distribuyan transversalmente las cargas, y se están ignorando las tensiones transversales. Por otra parte, se usan vigas Gerber produciendo zonas débiles donde la instalación de una viga continua sería mucho más adecuada.

6. Métodos de rehabilitación y reconstrucción

Debido al gran crecimiento actual de los volúmenes de tráfico, el ancho de calzada de los puentes viejos resulta ser insuficiente y su ensanchamiento necesario. Al respecto de la ampliación de las calzadas, se registraron dos métodos, para puentes que originalmente tenían 2 carriles de tráfico con doble circulación, a puentes con 4 carriles, o sea dos carriles para cada sentido de circulación. Éstos son, la construcción de un puente nuevo de dos carriles paralelo al puente antiguo (Caso 1), y la construcción de un puente de dos carriles adjunto al viejo y separado solo por una junta longitudinal (Caso 2).

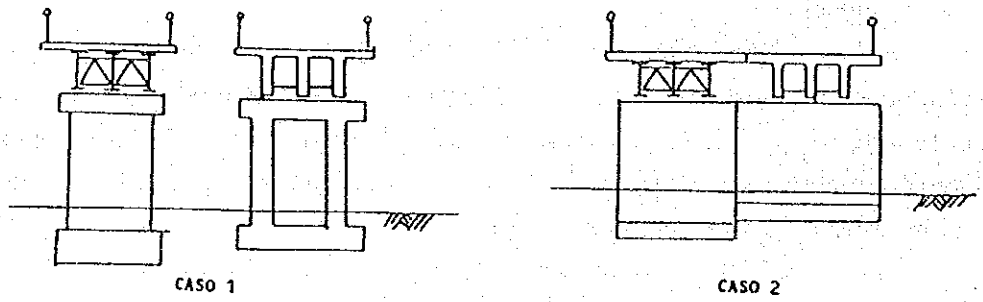


Figura 2-13 : MÉTODOS DE ENSANCHAMIENTO DE CALZADA

2) Problemas en puentes de hormigón

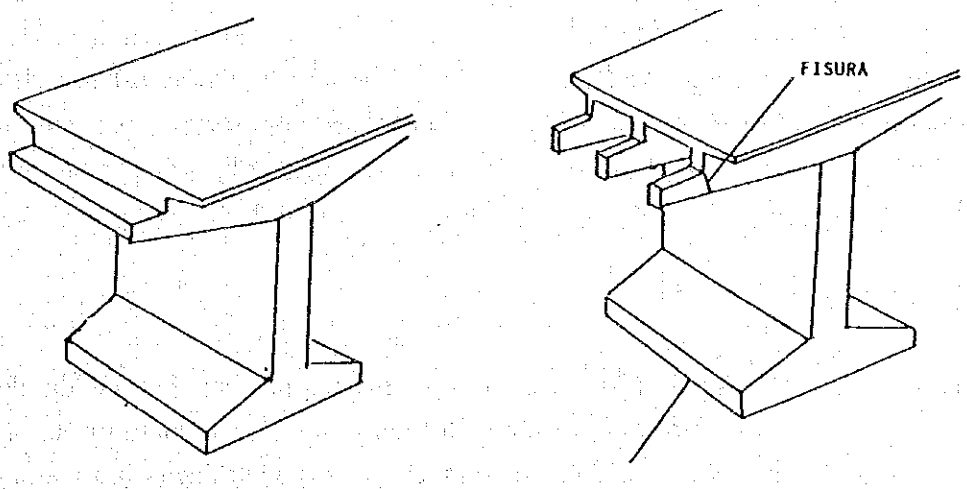
1. Calidad del hormigón

En general, se puede decir que la calidad del hormigón utilizado no es de muy buena. En especial, se puede pensar que se tienen problemas en la construcción de encofrados o moldajes, es común observar que los encofrados no fueron removidos en su totalidad. Además, se observó que existen problemas constructivos para el terminado de las líneas de encofrado, hormigonado de las esquinas o recodos, etc.

Por otra parte, debido a malos trabajos de hormigonado, se produjeron excesivamente defectos constructivos tales como nidos de piedra, armaduras al aire, etc., generandose así puntos débiles en la estructura.

2. Puentes con vigas continuas de hormigón armado

Se observó una gran cantidad de casos en los cuales se utilizaron articulaciones Gerber en este tipo de puentes. Uno de los problemas que se presentan en este caso, es la creación de puntos estructuralmente débiles debido al uso innecesario de este tipo de articulaciones, tal es
el caso de vigas con luces menores a los 20 m. Por otra parte, se tiene que la aplicación de éstas articulaciones se efectuó aplicando una construcción estructuralmente débil(Figura 2–14). Finalmente, se pudo verificar la existencia de casos de agrietamiento a partir de los apoyos intermedios, desde el pavimento, y en forma perpendicular al eje del puente.



Estructura adecuada resistente al corte

Estructura utilizada en Chile

Figura 2–14: DEFECTOS EN ARTICULACIONES GERBER

3. Cepas·columna de puentes en arco de hormigón armado

Se observó la aplicación de cepas tipo columnas demasiado esbeltas, lo que hace dudar al respecto de su rigidez; por ejemplo, una cepa con 30 mts. de altura pero sólo 70 cm. de ancho de sección y que además no posee travesaños ni riostra diagonales intermedias. Por otra parte, por el daño que presentan estas cepas esbeltas, puede considerarse aparentemente que no se están considerando las deformaciones elásticas en el diseño. En estas cepas se registraron daños considerables. (Figura 2–15)

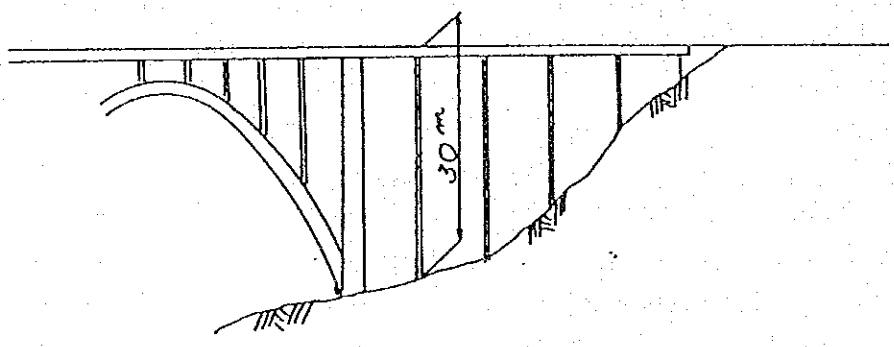


Figura 2–15 : CEPAS TIPO COLUMNA DE PUENTES EN ARCO

4. Construcciones de hormigón

Son varios los casos registrados en los cuales se presenta debilidad estructural debido a un mal tratamiento en las juntas de un hormigón viejo con uno nuevo.

3) Problemas en puentes de acero

1. Travesaños

En general los travesaños utilizados, no son ni cumplen con la función de vigas transversales, y son tan sólo simples arriostramientos diagonales de la plataforma. Además, están soldadas in situ a la viga principal; por otra parte, se puede decir que el trabajo de soldadura no fué hecho adecuadamente. Se registraron por lo menos 10 casos en los cuales las uniones estaban desoldadas o reparadas.

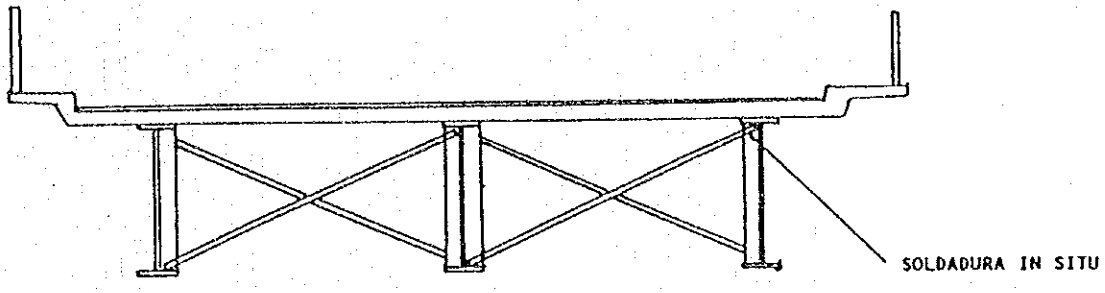


Figura 2-16 : CONSTRUCCIÓN DE TRAVESAÑOS

2. Viga principal

Las vigas por lo general presentan un aumento brusco de la sección de las platabandas del sector central, esto pone a la estructura en una situación de falla por fatiga. Además cabe destacar que en varios casos se observó que no se proporcionó una contraflecha o que presentan flechas excesivas.

(2) Evaluación del grado de deterioro o daños

Primeramente se realizó una evaluación por partes utilizando la hoja de inspección que se muestra en el informe central. Luego, adoptando como método de evaluación el conocido método del "Análisis de Jerarquización", se crearon 3 grupos o niveles de jerarquía; un primer nivel de jerarquía compuesto por la evaluación para cada grupo estructural del puente, un segundo nivel compuesto por la evaluación de las partes comprendidas en la superestructura, infraestructura y accesorios, y finalmente un tercer nivel compuesto por la evaluación de los daños o grados de deterioro del puente en general. Los resultados de esto se muestran en la Tabla 2-2.

Tabla 2-2 (1): PUENTES CON GRADO DE DETERIORO CLASIFICADO EN RANGO 4

RANGO4

No	NOMBRE	TIPO	REG	DETERIORO
122	NAVOTAVO	LOS	8	2.95
42	LOS LOROS	LOS	5	2.96
151	DESCARGA	LOS	8	2.96
100	LAS VERTIENTES	HAG	7	2.96
90	CLARO	ARS	7	2.96
149	DUQUECO	HPO	8	2.96
22	QUILIMARI	HAG	4	2.97
29	PULLALLY	ACE	5	2.98
88	PIRIHUIN	LOS	7	2.98
17	CHIGUALOCO	HAG	4	2.98
158	PS PIDIMA	ACE	9	2.99
106	ACHIBUENO	HAG	7	3.00
102	QUILIPIN	ACE	7	3.00
175	QUEPEANTIGUO	ACE	9	3.00
117	NIQUEN	LOS	8	3.01
31	TALAQUEN	LOS	5	3.01
44	PEUCOORIENTE	ACE	6	3.01
25	LA BALLENA	LOS	5	3.02
155	ESPERANZA	HAG	9	3.02
72	TINGUIRIRICAP	HAG	6	3.04
171	CAUTIN	HAG	9	3.05
172	METRENCO	HA-	9	3.06
176	QUEPENUEVO	MIX	9	3.06
157	MALLECO	ACE	9	3.09
116	PERQUILAUQUEN	HAG	8	3.10
233	TRAPENBAJO	LOS	10	3.12
33	EL COBRE	LOS	5	3.13
178	PERALES	ACE	9	3.18
236	LO PINTO 1 ORI.	LOS	13	3.18
23	PS LOS MOLLES	LOS	5	3.19
124	MENELHUE	LOS	8	3.19
161	DUMO	ARS	9	3.20
188	LELFUCADE2	ACE	10	3.20
168	PS PUA	LOS	9	3.22
240	PS SURACERO	ACE	13	3.23
181	CHADA	LOS	9	3.23
140	LAJITA	ACE	8	3.23
34	EL MELON	LOS	5	3.23
14	AMOLANAS	ARN	4	3.24
160	CHAMICHACO	HA-	9	3.25
38	ACONCAGUA-OCOA	HAG	5	3.26
108	LONGAVI	ACE	7	3.26
70	ANTIVERO PONIEN	HAG	6	3.27
138	RELBUN	HAG	8	3.33
156	MININCO	HAG	9	3.37
134	GALLIPAVO	LOS	8	3.37
152	BUREO	HAG	8	3.42
110	PIGUCHEN	LOS	7	3.46
141	BATUCO	LOS	8	3.46
142	BATUQUITO	LOS	8	3.48

Tabla 2-2(2) : PUENTES CON GRADO DE DETERIORO CLASIFICADO EN RANGO 5

RANGO5

No	NOMBRE	TIPO	REG	DETERIORO
143	SALTO DEL LAJA	ACE	8	3.51
150	BIO-BIO	HAG	8	3.52
245	PAINE ORIENTE	ACE	13	3.60
123	NINQUIHUE	LOS	8	3.67
166	QUINO	ARN	9	3.71
97	PIDUCO	LOS	7	3.74
213	RAHUE	ARN	10	3.75
99	MAULE ORIENTE	ACE	7	3.81
159	HUEQUEN	LOS	9	3.89
98	MAULE PONIENTE	MIX	7	3.95
137	DIGUILLIN	HA-	8	3.97

2-2 ESTUDIO HIDROLÓGICO

En base a los resultados obtenidos en el estudio de los puentes objetivo del proyecto, en cuanto a las estructuras de los puentes, respecto a la hidrología, se pueden mencionar los siguientes cuatro problemas.

(1) Socavación de las fundaciones de estribos y cepas

Debido a que en general los ríos de Chile tienen fuertes pendientes de escurrimiento, y debido a factores tales como los grandes incrementos de caudal según la estación, tramos de puente de longitudes comparativamente muy cortas, alturas de fundación muy bajas, etc. se registraron numerosos casos de progresiva socavación de las fundaciones de los estribos y cepas.

(2) Sección hidraulica transversal insuficiente

Durante las inspecciones, fueron numerosos los casos en los cuales se observó que con el propósito de reducir en lo posible la longitud total del puente, se construyeron terraplenes para penetrar con el camino hacia ambas riveras del cruce. Además, se observó también, que a fin de abaratar los costos de construcción, se diseñaron puentes con tramos cortos y numerosos, ocasionando con esto, la insuficiencia de sección hidráulica (sección de escurrimiento) de la infraestructura.

Como consecuencia de esto, en caso de riadas o inundaciones, se originan bruscos cambios de nivel aguas arriba y aguas abajo del puente, ocasionando grandes incrementos locales de la velocidad de escurrimiento; esto a su vez origina la socavación y genera presiones hidraulicas en la infraestructura; creando así, imprevistas solicitaciones horizontales. Consecuentemente, este fenómeno es el causante de una considerable disminución de la capacidad portante de las fundaciones, y por ende, es el causante de asentamientos, inclinaciones y el riesgo de colapso.

Por otra parte, en caso de riadas más intensas, el nivel de aguas podría alcanzar hasta la superestructura. Esto incrementaría aún más el problema de socavación y originaría además el deterioramiento de la superestructura.

(3) Destrucción del talud de protección de los margenes

Puesto que en muchos casos, se penetró hacia el cauce con el camino por medio de terraplenes, pudo observarse que para proteger los taludes de éstos del efecto de arrastre de las aguas, se instalarón protectores en ambas riveras utilizando material natural tal como piedras bolón u otros. Sin embargo, si bién se está intentando proteger las riveras con éstas estructuras de gran tamaño y espesor, contrariamente se está ocasionando el cambio de la posición del eje del cauce o flujo, haciendo que el flujo de las aguas se concentre en una parte de la infraestructura y contribuya a la socavación y otros fenómenos de erosión. Por otra parte, se pudo observar que en diversos puentes no se cuenta con protección alguna y las riveras están bastante afectadas.

(4) Infraestructuras con alturas de fundación insuficientes

Los ríos de Chile por lo general tienen lechos conformados por estratos gravosos, por lo cuál una gran mayoria de los puentes cuentan con fundaciones directas. Sin embargo, se observó que aún en terrenos donde fundaciones directas son admisibles, o aún en los casos en que se hayan instalado fundaciones con pilotes, la altura de fundación de las zapatas es relativamente insuficiente. Esto constituye, al respecto de las fundaciones, un factor muy importante para la disminución de la capacidad portante debido a la socavación, y para la inclinación o riesgo de colapso de la infraestructura, constituyendose como el causante de que funcionalmente el puente tenga una vida corta de resistencia.

3. ESTUDIO ESPECIALIZADO DE PUENTES

3-1 ESTUDIO ESPECIALIZADO DE PUENTES

3-1-1 RESUMEN DEL ESTUDIO ESPECIALIZADO

(1) Fundamentos para la selección de los puentes objetivo del estudio especializado

A continuación se presentan los fundamentos de criterio utilizados para la selección de los puentes objetivo del estudio especializado.

1. Puentes muy dañados que requieren de urgente reparación.
2. Puentes con daños característicos con respecto a los puentes de Chile.
3. Puente de gran importancia social y económica.
4. Puentes cuyos métodos de reparación requeridos representan un aporte de transferencia de tecnología.

En base a estos criterios de selección el equipo de investigación escogió inicialmente 22 puentes, presentándolos como posibles candidatos para el estudio especializado ante el Ministerio de Obras Públicas, quienes a su vez presentaron su propia lista de selección de puentes para efectuar un examen comparativo; finalmente, con el asesoramiento del Consejo Administrativo del Japón, se seleccionaron los 10 puentes que se muestran en la Tabla 3-1 como puentes objetivo del estudio especializado, más uno para el ensayo de cargas. En la Tabla 3-2 se presentan los problemas que atingen a los puentes mencionados; además, en la Figura 3-1 se presentan las ubicaciones de cada uno de ellos.

(2) Puentes objetivo del estudio especializado

Tabla 3-1 : PUENTES OBJETIVO DEL ESTUDIO ESPECIALIZADO

Nº	PUENTE	REGIÓN	LARGO (m)	TIPO ESTRUCTURAL
1	AMOLANAS	4	235.2	Arco de hormigón armado de 3 tramos continuos
2	PULLALLY	5	148.5	Vigas continuas de acero de tres tramos
3	MAIPO	RM	460.6	Vigas simplemente apoyadas de hormigón postensado
4	PEUCO	RM	-	Vigas de acero simplemente apoyadas
5	CLARO	7	117.7	Arco de mampostería de ladrillo de 7 tramos continuos
6	LONCOMILLA	7	150.0	Vigas continuas de hormigón postensado de 7 tramos
7	BIO-BIO ANTIGUO	8	1455.0	Vigas de acero simplemente apoyadas de 104 tramos
8	RAMADILLAS	8	210.0	Vigas de acero simplemente apoyadas de 14 tramos
9	MALLECO	9	344.1	Vigas continuas de acero, 9 tramos
10	PICHOY	10	80.6	Vigas simplemente apoyadas hormigón armado+vigas simplemente apoyadas de acero
11	CAYUMAPU	10	49.0	Vigas continuas de hormigón armado con articulaciones Gerber; tres tramos

Tabla 3-2 : PROBLEMAS DE LOS PUENTES

Nº	Puente	Problema
1	AMOLANAS	Losa y Pavimento críticamente averiado a consecuencia del impacto de la carga viva del lado de Santiago
2	PULLALLY	El tercer tramo contando desde el lado de La Serena tiene las vigas continuas muy deformadas. La relación "Altura viga ,vs. Luz del tramo" es de 1/26, escaso, lo que ocasiona la excesiva vibración cuando pasan los vehículos. Según los registros del MOP el puente ha colapsado ya una vez.
3	MAIPO	No tiene travesaños ni a medio tramo ni en los extremos de las vigas. Las cepas están compuestas por dos columnas, no presentan estabilidad para casos de sísmos. Cabezas de fundación a la vista por socavación
4	PEUCO	Puente de dos vigas de acero. Muy inestable para esfuerzos de torsión. Las soldaduras están en pésimo estado
5	CLARO	Puente declarado monumento nacional; esto hace que el mantenimiento sea primordial. Presenta problemas de socavación de sus fundaciones.
6	LONCOMILLA	Zapatas de fundación tanto para los estribos como para las cepas tienen altura de fundación insuficientes. Por lo cual la socavación es crítica; actualmente los pilotes "H-riel" están a la vista. Se observó también inclinación crítica de cepas.
7	BIO-BIO ANTIGUO	Colapso parcial debido al terremoto de 1960. Existe prohibición del paso de vehículos pesados mayor a 8 toneladas. Capacidad de tráfico insuficiente.
8	RAMADILLAS	Tráfico intensivo de vehículos pesados transportando madera. Cabezas de apoyo en cepas agrietadas gravemente.
9	MALLECO	Construido en 1973. Se produjo pandeo de las vigas por torsión antes que entrar en servicio y se tuvo que adicionar atiesadores de rigidez. La superestructura esta compuesta por tres vigas y carece de travesaños intermedios para la distribución de esfuerzos. Notoria flexión de las vigas.
10	PICHOY	Las vigas superiores tienen un desplazamiento horizontal debido al terremoto de Chile, quedando como resultado, cabezas de apoyo angostas; esto es muy peligroso para el caso de otro sísmo. Apoyos Gerber muy dañados.
11	CAYUMAPU	Estribos y cepas inclinados a raíz del terremoto.

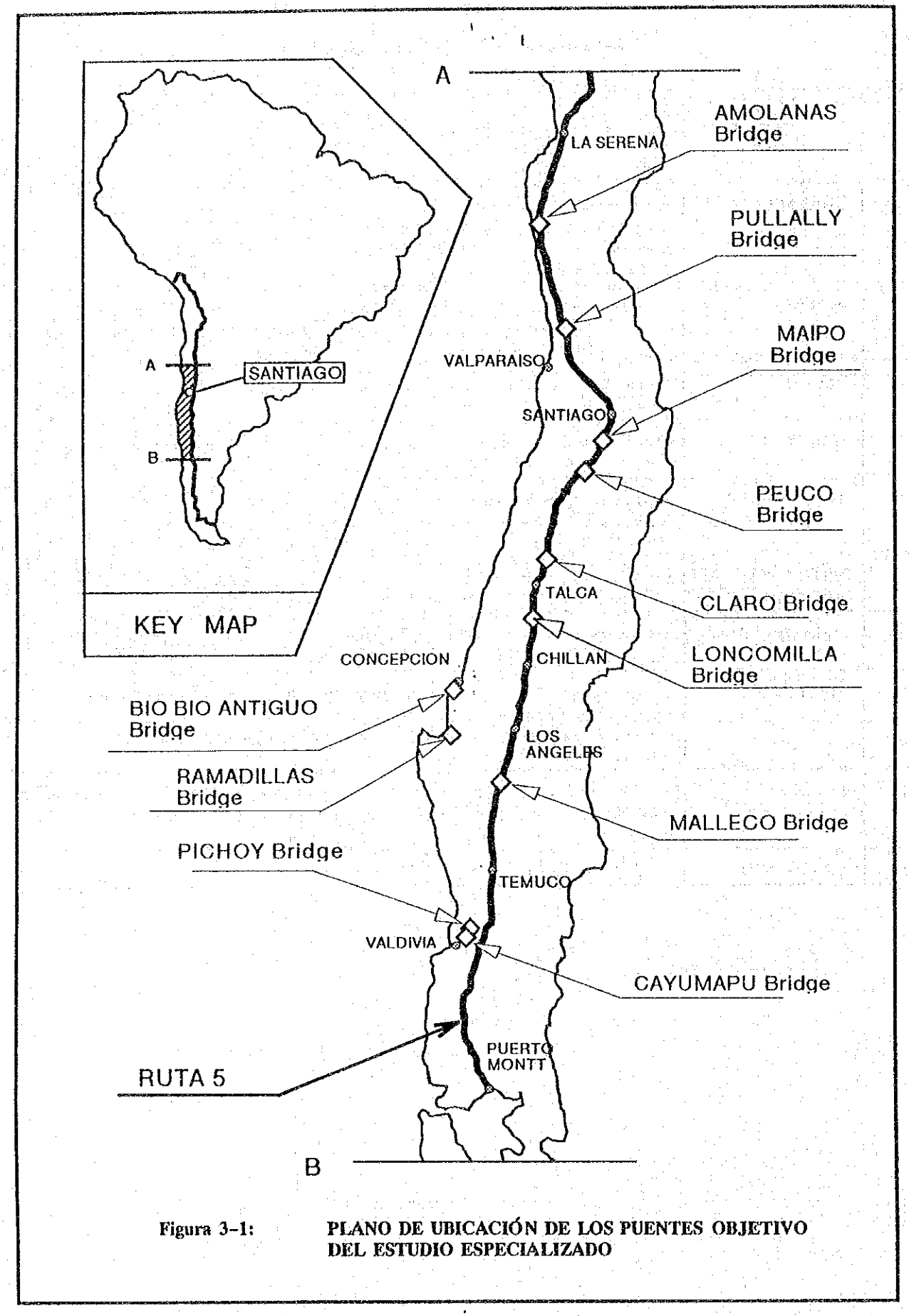


Figura 3-1: **PLANO DE UBICACIÓN DE LOS PUENTES OBJETIVO DEL ESTUDIO ESPECIALIZADO**

3-1-2 MÉTODO DE EJECUCIÓN DEL ESTUDIO ESPECIALIZADO

(1) Líneas básicas acerca de la ejecución del estudio especializado

El estudio fué ejecutado siguiendo básicamente el siguiente lineamiento:

1) Estudio mediante instrumentos especiales

Con el objeto de medir o estimar el grado de deterioro y las características principales de los materiales de que está compuesta la estructura de cada puente, se efectuaron los siguientes estudios:

1. Ensayo no destructivo del hormigón mediante el "Martillo de Schmidt".
2. Localización de la armadura del hormigón, y medición del recubrimiento mediante el "Profometer".
3. Ensayo de carbonatación del hormigón.
4. Medición de la dureza del acero mediante el ensayo de la dureza de Brinell.

2) Estudio de mensuramiento y medición de deformaciones

Usualmente los puentes sufren deformaciones debido a fenómenos tales como los sísmos, inundaciones, socavación, etc. Por otra parte, debe considerarse que la forma conseguida al finalizarse la construcción, no es exactamente igual a la proyectada durante el diseño. Bajo éstas consideraciones, a fin de obtener las dimensiones actuales de los puentes, y de medir el estado de deformaciones, se efectuaron los siguientes estudios:

1. Medición de deformaciones longitudinales y transversales, pendientes, y asentamientos mediante el uso de taquígrafos y niveles. Levantamiento de las vías de acceso.
2. Medición de asentamientos e inclinación de las cepas.
3. Verificación de alturas de fundación. Estudio del estado de socavación del lecho.
4. Estudio de fisuramiento de la losa.

3) Estudio geológico y de suelos

En la actualidad en Chile no se cuenta con suficiente material de información de geología y suelos concernientes a puentes. Puesto que toda información acerca de suelos es imprescindible para el análisis de contramedidas contra los sísmos, socavación, etc., se

determinó la ejecución del estudio geológico y de suelos para todos puentes objetivo del estudio, a excepción de los puentes Amolanas, Claro, y Ramadillas.

Con el objeto de verificar la capacidad portante del terreno se realizaron los respectivos ensayos de penetración normal; y para conocer la conformación de suelos de las fundaciones de los puentes, se dispuso la ejecución de los ensayos de clasificación de suelos en laboratorio.

3-1-3 RESULTADOS Y COMENTARIOS DEL ESTUDIO

(1) Medición mediante instrumentos especiales

1) Resultados de las mediciones

1. Resistencia del hormigón:

Las mediciones de la resistencia del hormigón, efectuadas para los 10 puentes objetivo del estudio, mediante la aplicación del Martillo de Schmidt, dieron como resultado un rango delimitado por un valor máximo de 330kg/cm^2 y un valor mínimo de 210kg/cm^2. Al respecto de la resistencia del hormigón utilizado para la superestructura, pudo observarse que en el caso de los puentes con piezas de hormigón pretensado, tales como el Maipo, Loncomilla, etc. se registraron valores superiores a los 300kg/cm^2. Por el contrario, en los puentes Biobio Antiguo, Ramadillas, Pichoy y Cayumapu, existen elementos en los que se registraron valores relativamente bajos. Sin embargo, esto no quiere decir que se tenga problemas de incapacidad de carga.

2. Estudio de la armadura:

La posición, recubrimiento y distribución de la armadura de refuerzo del hormigón armado, fueron verificados mediante el uso del método no destructivo que utiliza el conocido instrumento "Profometer". Además, la verificación del recubrimiento se hizo también visualmente para los casos en que se efectuara el ensayo de carbonatación. Al respecto del espaciamiento de la armadura, puede verse que inclusive en el caso de espaciamiento máximo (puente Loncomilla, e=260mm) no se superan los valores admisibles, por lo que se concluye que, no existe problemas de distribución de armaduras. Por otra parte, los valores registrados del recubrimiento se distribuyen en un rango de 78mm como máximo y 3mm como mínimo, pero considerando el margen de los errores constructivos de cada elemento, estos valores no representan ningún problema en especial. Puesto que desafortunadamente no se dispuso de

los planos de diseño o memorias de cálculo de los puentes, no se pudo aprovechar los datos al respecto del diámetro de la armadura, para verificar si la armadura es suficiente ante las solicitaciones consideradas.

3. Dureza y resistencia del acero:

Para la verificación de la dureza y resistencia del acero, en elementos estructurales de la superestructura, se efectuaron mediciones mediante el conocido instrumento "Equotip". Si se hace una comparación de los valores de la dureza del acero medidos en el terreno, con los valores estándar utilizados en Japón para piezas de acero (SS40, dureza Brinell Hb140~150), puede observarse que se tienen valores promedio relativamente bajos, por ejemplo el puente Pullally (Hb=125) y el puente Pichoy (Hb=128).

4. Ensayo de carbonatación:

El ensayo de carbonatación se efectuó simultáneamente con la detección de las armaduras con el Profometer. Debemos recordar que la oxidación de la armadura de refuerzo tiene una estrecha relación con la carbonatación del hormigón. Una mezcla de hormigón recién vaciada normalmente tiene un contenido alcalino de PH12, éste contenido de alcalinidad va disminuyendo con el transcurso del tiempo, y generalmente cuando alcanza niveles inferiores a un PH9 la armadura interior se corroe con rapidez. Durante el estudio, se observaron casos críticos de carbonatación en los puentes Claro, Biobio Antiguo, Ramadillas, Pichoy y Cayumapu, en los cuales se registraron contenidos de alcalinidad inferiores a PH9 en espesas capas de hormigón carbonatado (de más de 20mm).

2) Comentarios

Uno de los principales objetivos del presente estudio especializado, es el analizar las características de los materiales de los elementos estructurales que componen cada puente. De acuerdo a los resultados obtenidos en éste estudio, pudo observarse que en cada puente existen pequeños problemas relacionados con la resistencia de materiales. Empero éstos no siempre tienen relación directa e inmediata con la seguridad del puente. Existe una gran influencia de la vejez e intemperancia en la mayoría de los puentes objetivo del estudio, lo que ocasiona un proceso de crítica carbonatación del hormigón, como se puede ver en la Tabla 3-3. Esto demuestra que, en muchos casos, el tiempo de vida media útil del puente ya ha expirado, y la rehabilitación de las partes afectadas no será fácil de realizar con simples trabajos de reparación. Por otra parte, es recomendable la reposición de los puentes que fueron señalados por estar afectados por una severa y crítica carbonatación.

Tabla 3-3 : RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON LA MEDICIÓN MEDIANTE INSTRUMENTOS ESPECIALES

Puente	Resistencia del hormigón	Espaciamiento de armadura	Resistencia del acero	Carbonatación del hormigón
Amolanas			–	Δ
Pullally			Δ	Δ
Maipo			–	Δ
Claro			–	O
Loncomilla			–	Δ
Biobio Antiguo	Δ			O
Ramadillas	Δ			O
Malleco				
Pichoy	Δ		Δ	O
Cayumapu	Δ		–	O

Simbología:

O : Existe problema serio
Δ : Poco problema
(en blanco) : No hay problema
– : No experimentado

(2) Estudio de mensuramiento y medición de deformaciones

Paralela y simultáneamente al estudio mediante instrumentos especiales, se efectuó el estudio de mensuramiento de cada uno de los puentes, y además las mediciones de las deformaciones en los ítemes que se muestran a continuación. Los datos de los planos obtenidos mediante este estudio, se encuentran en el anexo respectivo. Por otra parte, en cuanto al método de estudio de deformaciones de los puentes refiérase al capítulo 7-4 de la Guía de Mantenimiento.

1) Resultados

Si se hace un detalle de las causas que originaron las deformaciones para cada puente, se obtiene el listado que se muestra en la Tabla 3-4

Tabla 3-4 : RESUMEN DE LAS CAUSAS DE DEFORMACIONES

Puente	Comentarios especiales acerca de las deformaciones
Amolanas	Fisuramiento progresivo del hormigón de la losa debido a la carga vehicular. Inclinación uniforme de las cepas tipo columna del primer tramo hacia el estribo del lado de Santiago.
Pullally	Vibración muy grande cuando pasan los vehículos. Las deformaciones de las vigas principales son muy notorias, inclusive a simple vista. Existe una excentricidad o desfase de más o menos 7cm en la junta entre las vigas continuas de 3 tramos y las de 4 tramos. Existe un proceso de socavación progresiva en las fundaciones (cepas).
Maipo	Socavación crítica de las fundaciones de la cepa Nº11, al lado de Talca. Además, en el tope superior de la misma cepa, existe un asentamiento de la superestructura de aproximadamente 10cm, y un desplazamiento horizontal de aproximadamente 13cm.
Claro	Socavación en las fundaciones de la segunda cepa
Loncomilla	Existe un desplazamiento de aproximadamente 35cm entre los tramos que apoyan sobre la cepa Nº.5. En éste mismo punto, también se observó la existencia de un desnivel de casi 12cm entre la superficie de la izquierda y la de la derecha.
Biobio Antiguo	La socavación de las fundaciones de las cepas es tan crítica, que casi todas las cabezas de los pilotes están visibles. En la cepa Nº.46 existe un desnivel entre la superficie de la izquierda y la derecha de casi 19cm, y además ésta misma cepa tiene una gran probabilidad de inclinación. La deformación de la superficie está tan avanzada que no permite un tránsito rápido de vehículos.
Ramadillas	La superficie de rodado se encuentra en un estado de extrema deformación como consecuencia de asentamientos e inclinaciones en las cepas. Por otra parte las cabezas de apoyo de las cepas presentan un agrietamiento crítico y están en una situación muy peligrosa.
Malleco	Se verificaron deformaciones anormales y vibración excesiva de la superestructura con el tránsito de vehículos. No se puede verificar si las deformaciones de las cepas se deben a errores constructivos, o al efecto de las cargas que actuaron posteriormente a la construcción, pero se pudo verificar deformaciones de aproximadamente 8cm entre la cabeza de apoyo y la base de la cepa.
Pichoy	Deformación crítica de la superficie, probablemente causado por los asentamientos e inclinaciones registradas en las cepas Nº.2 y Nº.3. Se registraron deplazamientos horizontales de hasta 13cm, y verticales de hasta 14cm. Las cepas del lado de Valdivia están inclinadas y el apoyo está roto.
Cayumapu	Asentamiento de la cepa Nº.1 (aprox.10cm), inclinación de la cepa Nº.2 (aprox.4°), inclinación del estribo Nº.2 (aprox.10°).

2) Comentarios

Si se hace una clasificación de las principales causas de las diferentes deformaciones que se registraron en el estudio, se obtiene el cuadro que se describe en la Tabla 3-5. Vale aclararar que, éstas causas o factores no actúan en forma independiente, sino que más bien combinadas unas con otras, como se puede ver en la tabla, hasta originar que la estructura se deforme.

Tabla 3-5 : CAUSAS QUE PRODUCEN LAS DEFORMACIONES EN CADA PUENTE

Puente	Causas para las deformaciones			
	1	2	3	4
Amolanas	●			
Pullally	>	>	>	●
Maipo		>		
Claro		>		
Loncomilla		>	●	●
Biobio Antiguo			●	
Ramadillas	>		●	>
Malleco	>			>
Pichoy		>	●	●
Cayumapu		>	●	●

Simbología:

1. Daños debido al tránsito de vehículos.
2. Deformaciones debidas a factores hidrológicos, tales como socavación, etc.
3. Asentamientos y deformaciones debido a la insuficiente capacidad portante.
4. Deformaciones debido a sísmos o terremotos.

●: Principal factor causante de la deformación.
>: Factor secundario causante de la deformación.

3-2 ENSAYO DE CARGAS

3-2-1 DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO DE CARGAS

El ensayo de cargas se ejecutó en el puente Peuco que está ubicado aproximadamente a 60km al sur de Santiago; conjuntamente con este ensayo, se realizó también el registro de la frecuencia de tensiones de carga por tráfico real.

En este ensayo, a la vez de utilizarse instrumentos de precisión modernos, se trabajó conjuntamente con el personal chileno con el fin de hacer una extensa presentación del método de ensayo.

Cabe aclarar que los resultados obtenidos no tienen la finalidad de verificar o demostrar el propósito principal del proyecto, que es el planificar la administración de conservación y rehabilitación de puentes; sino más bien, básicamente tienen la finalidad de aclarar las características básicas del puente.

El puente objetivo del ensayo, Puente Peuco, está compuesto de 2 vigas de acero (de tres tramos) con todas sus juntas o uniones soldadas. En base a ésas características se delínean los objetivos que muestran a continuación.

Objetivos del ensayo de cargas

1) Verificar las características estructurales de las 2 vigas que componen la superestructura.

   - deformaciones de la viga principal y de la losa
   - distribución de cargas por los arriostramientos transversales
   - funcionalidad de las uniones de vigas

2) Verificación de las propiedades de fatiga.

   - deformaciones del perfil de la viga principal, vida de fatiga de las soldaduras de los atiesadores

3) Verificar la relación entre cargas y deformaciones.

Las mediciones se efectuaron en partes representativas de las vigas principales, arriostramientos, y atiesadores mediante calibradores de deformación. La instalación del equipo de medición se efectuó al centro de uno de los tramos debajo de la losa. En la Figura 3-2 se muestra el procedimiento del ensayo.

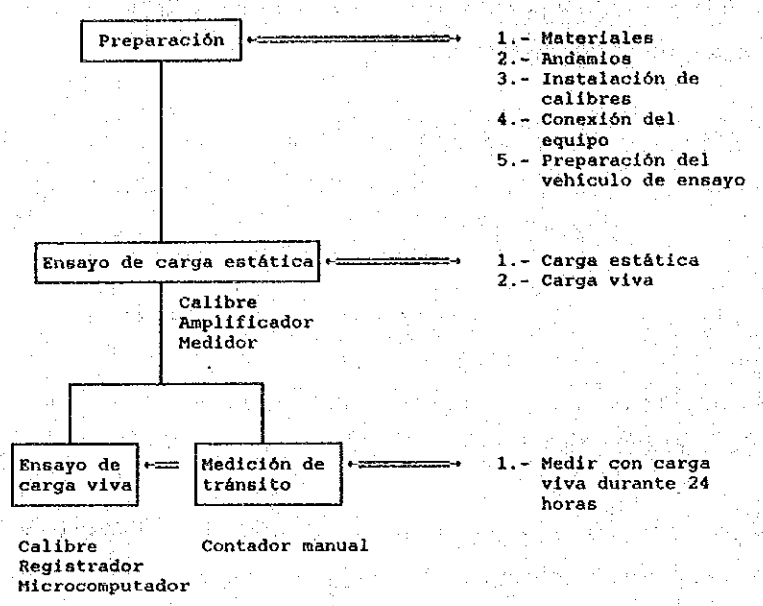


Figura 3-2 : DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE CARGAS

3-2-2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

(1) Resultados del ensayo de carga por el método estático

Al respecto de éstos resultados se pueden plantear los siguientes comentarios:

1) Las tensiones son generadas principalmente al centro de la viga. Riostras superiores, diagonales e inferiores, y atiesadores no están siendo sometidos a grandes tensiones.

2) Si se hace una comparación de los esfuerzos entre los casos de carga, podemos ver que las tensiones en la platabanda inferior, registrados por los calibradores No.1 y No.2 ubicados en puntos de cambio de sección, son de 187 kg/cm^2 y 178 kg/cm^2 respectivamente; mientras que en un punto normal ubicado a medio tramo 92 kg/cm^2. O sea, las tensiones transversales son prácticamente el doble de las normales.

3) Si se hace una comparación de los esfuerzos entre las tensiones registradas por los calibradores No.14 =92kg/cm^2 y No.101 =18kg/cm^2 (ubicados en la platabanda inferior), puede observarse que no existe una distribución de cargas entre las vigas.

4) El calibrador No.3 registró una tensión en el extremo de la soldadura del atiesador comparativamente muy grande =112kg/cm^2.

5) Las tensiones registradas en las riostras superiores oscilan entre 20 y 30kg/cm^2; por el contrario, prácticamente no se registraron tensiones ni en las riostras diagonales, ni en las inferiores.

(2) Resultados de la medición de frecuencis de tensiones

Los resultados estimados de la vida de fatiga se muestran en la Tabla 3-6.

De éstos se puede deducir lo siguiente:

1. La vida de la viga en los puntos de cambio de sección es aproximadamente de dos años, por lo tanto está en una situación de sobrefatiga.
2. De la misma manera las partes soldadas del atiesador tiene aproximadamente 10 años de vida, estando en una situación crítica.
3. Se estima que las riostras superiores, en especial las partes soldadas, tienen una vida de fatiga muy corta; sin embargo, no existen otras piezas (además de éstas) que se consideren con vida corta.

Tabla 3-6 : RESULTADOS ESTIMATIVOS DE LA VIDA DE FATIGA (en años)

Punto de observación	Calibrador No	Clasificación					
		C	D	E	F	G	H
Platabanda inferior, punto de cambio de sección	1	21.5	6.4	*1.8	0.7	0.2	0.1
Platabanda inferior, punto de cambio de sección	2	25.8	7.2	*1.9	0.7	0.2	0.1
Alma de la viga, extremo de soldadura. del atiesador de carga	3	219.3	37.4	*9.4	2.2	0.7	0.3
Riostra inferior	5	α	α	α	α	α	*59.6
Atiesador de carga, cerca de platabanda superior	7	α	α	*α	α	233.6	88.9
Platabanda inferior, centro	14	α	*89.5	27.0	5.8	1.4	0.5
Riostra superior	21	α	α	α	α	270.3	*10.9
Soldadura de platabanda superior con el alma de la viga	102	α	α	*α	α	α	α

Nota :

- Los casos en que la vida de fatiga es mayor que 274 días (100000 horas) se representan con "α".
- Los valores marcados con "*" corresponden a la vida de fatiga para cierto nivel de tensiones.

(3) Observaciones y recomendaciones

Considerando que en los puntos de transicion de la seccion de la viga, o sea los puntos de cambio de la seccion dela platabanda inferior, sa ha llegado a una situacion en la que teoricamente ya no queda vida de fatiga remanente. Y ademas, puesto que se tienen registros tales como los arriostramientos diagonales del entramado una vez y se la rehabilito con soldadura en sitio, el tipo de puente de una losa apoyada en dos vigas independientes generan una variedad de problemas estructurales, etc. es que se recomienda la reposicion total del puente Peuco.

4. DISEÑO DE REHABILITACIÓN Y ESTIMACIÓN DE COSTOS

4-1 NORMAS BÁSICAS DE DISEÑO

El principal objetivo de éste capítulo es la presentación de la metodología que se deberá seguir para la reparación de los diez puentes que fueron seleccionados en la primera fase del estudio (Noviembre a Diciembre de 1991). Cabe señalar que dichos puentes fueron seleccionados tomando en cuenta los siguientes aspectos:

1. Puentes en estado crítico de deterioro y que requieren urgente reparación
2. Puentes del tipo 1. y cuyos tipos de deterioro son característicos o representativos en Chile
3. Puentes cuya importancia social o económica sea trascendental

Por consiguiente, pudo observarse dentro de los 10 puentes seleccionados, puentes cuyo estado de deterioro es muy grave, y también casos extremos en los cuales se requiere su reposición completa. Pero, considerando que el presente estudio presta especial atención y cuidado para eliminar el actual peligro de colapso de algunos puentes sin tomar en cuenta nuevas construcciones o el mejoramiento del nivel original del puente, en éste capítulo se estudian y plantean métodos y contramedidas para la reparación y/o refuerzo.

Puesto que existen diversos métodos de reparación de puentes, los cuales en un amplio margen podrían contemplar: trabajos de mantenimiento, reparación, rehabilitación, refuerzo, o reposición del puente; además, a fin de no incrementar los requerimientos en estudios o ensayos para el diagnostico de los puentes, en el presente estudio se efectúa básicamente una presentación resumida para cada uno de los puentes seleccionados. Vale decir, no se realiza un cálculo exhaustivo de los elementos estructurales, o el contenido de hierro de refuerzo, etc.

Sin embargo, puesto que para una correcta evaluación, no basta con la evaluación detallada del estado de deterioro, obviamente en el método de reparaciones que se plantea en éste estudio, se tomaron en cuenta factores inherentes a la estructura del puente en sí, tales como: topografía, geología, hidrología, caminos, sismología, y también factores sociales.

4-2 CRITERIO DE DISEÑO PARA LAS REPARACIONES Y RESULTADOS DEL ESTUDIO

(1) Resultados del estudio

El estudio especializado consistió básicamente en mediciones y ensayos tales como la determinación de la resistencia del hormigón, carbonatación del hormigón, detección de la armadura de refuerzo y la dureza del acero (ver Capítulo 2); por otra parte, se efectuaron también trabajos de levantamiento topográfico, medición de dimensiones del puente y sus elementos componentes, y también de sus respectivas deformaciones. Asimismo, se realizó un estudio geológico y de mecánica de suelos. Estos resultados determinan básicamente la metodología de reparaciones, y juntamente con los resultados de la inspección, el rango del estado de deterioro de los puentes en estudio pueden resumirse en los ítemes que se muestran a continuación:

1. Ubicación del puente conservando un alineamiento adecuado del eje del camino.
2. Topografía y características geológicas del terreno con respecto a la ubicación del puente (por ejemplo: deslizamientos, poca capacidad portante, licuefacción, etc.).
3. Hidrología.
4. Volúmenes de tránsito y ancho de calzada.
5. Vida útil remanente del puente.
6. Deterioro de la estructura.
7. Factores inherentes al diseño original.
8. Resistencia a movimientos sísmicos.
9. Deformaciones admisibles de la estructura.
10. Ruta alternativa.

En base a los mencionados ítemes se consigue catalogar el estado de cada puente como se muestra en la Tabla 4-1.

Tabla 4-1 : RESUMEN DEL ESTADO DE LOS PUENTES

PUENTE	ÍTEM										TIPO DE PUENTE
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	
AMOLANAS	*	*		*	*	*	*	*	*	*	Arco de H.A.
PULLALLY		*	*				*			*	Viga Metálica
MAIPO			*				*	*		*	Hormigón Post.
CLARO			*	*	*					*	Arco de Mampost.
LONCOMILLA			*			*			*	*	Hormigón Preten.
BIO-BIO			*	*	*						Viga Metálica
RAMADILLAS		*	*	*		*			*	*	Viga Metálica
MALLECO	*	*				*	*	*	*	*	Viga Metálica
PICHOY		*			*	*			*		Mixto(HA,VM)
CAYUMAPU		*			*	*			*	*	Mixto Gerber

Nota.- * : Indicador de deficiencia en los ítemes correspondientes

(2) Criterios del diseño de reparaciones

Puesto que los resultados de las deficiencias que se muestran en el párrafo (1) y la evaluación de sus probables causas que los originan, son insuficientes para el establecimiento de una metodología de reparaciones, es indispensable determinar el criterio fundamental que rija la metodología del diseño.

Por lo tanto se establecieron las siguientes condiciones:

1) <u>Alineamiento del eje del camino</u>

Debe verificarse si el alineamiento vertical y horizontal del camino y los accesos del puente, y también si la velocidad de tránsito cumplen con los requisitos indispensables de diseño de caminos. -Casos: Amolanas, Malleco.

2) Topografía y geología

1. En el puente Malleco, cerca del acceso sur (sector hacia Temuco) se registró un deslizamiento de terreno, y para su control, se construyó un pozo drenante de aproximadamente 25m. de diámetro y 30m. de profundidad, y además se hincaron aproximadamente 50 pilotes de 1.0m de diámetro al pie del talud. Por otra parte, se sabe que la máxima altura aproximada de las cepas es de 77m, y su altura de fundación es de aproximadamente 6.0m; a este respecto, se ignora si se hizo algún estudio que considere probables deslizamientos. Por lo cuál, es indispensable un estudio exhaustivo de suelos para determinar la construcción de protectores contra deslizamientos de las cepas, como contramedidas, o en su defecto optar por el cambio del eje del camino.

2. Se necesita un estudio de las fundaciones considerando el material del lecho de fundación. Esto se debe a que existen casos en los cuales el lecho del río esta conformado por arena suelta, y puesto que éste tipo de material es afectado por el fenómeno de licuefacción, haría disminuir notablemente el modulo resistente del suelo de fundación.

3. En el caso de terrenos de fundación blandos y estructuras con pilotes cuya profundidad de hincado es insuficiente, deberá verificarse al deslizamiento y hundimiento. Dependiendo de ése análisis se podrá considerar el refuerzo con pilotes más largos o la construcción de una nueva infraestructura. –Casos: Ramadillas, Cayumapu, Pichoy.

4. Además, en casos en los cuales el estribo se encuentra construido sobre rellenos o terraplenes (Puente Amolanas), o cuando el estribo está cerca de terraplenes muy altos (Puente Malleco), deberá considerarse el estudio geológico para las fundaciones como contramedida de gran importancia.

3) Hidrología

1. Generalmente puentes de escasa longitud con respecto al ancho del río requieren ser prolongados a largo plazo por medio de tramos laterales. –Casos: Pichoy y Cayumapu.

2. Luces de tramos correspondientes a puentes ubicados sobre ríos caudalosos, requieren ser alargados porque el coeficiente de obstrucción del cauce por la cantidad de cepas es muy grande. Casos: Bio–Bio Antiguo.

3. Puentes con una altura de gálibo insuficiente con respecto al nivel de aguas máximas, deben ser reemplazados. –Casos: Pullally.

4. Ríos en los cuales el sentido del cauce incide frontalmente en las paredes de las cepas, y esto constituye un factor determinante en la socavación de las fundaciones. Es necesario tomar contramedidas; tales como, protección de las fundaciones u otras, para los casos en que considerando las características hidrológicas y geológicas del río, se presuma la formación de sedimentos o socavaciones. –Casos: Pullally, Maipo, Claro, Loncomilla, Bio–Bio Antiguo, Ramadillas y Cayumapu.

4) Volúmenes de tráfico

Las condiciones referentes al volumen de tráfico están relacionadas con los problemas debido al ancho de calzada, número de vías de circulación, y carga viva que deberá soportar la estructura, los cuales se resumen en la Tabla 4–2.

En la Tabla 4–2, los puentes señalados con "*" en la columna "ancho de calzada" son aquellos cuya calzada es insuficiente y necesitan ser ensanchados o aumentar el número de vías de circulación. Por otra parte, los puentes señalados en la columna "carga viva..." son aquellos cuyo sistema de soporte de la losa es deficiente y ocasionó el deterioro de la losa en sí (en el caso de la superestructura), o que la infraestructura ha sufrido asentamientos, y en ambos casos se requieren contramedidas.

Tabla 4-2 : VOLÚMENES DE TRAFICO EN LOS PUENTES SELECCIONADOS

PUENTE	VOLÚMENES DE TRAFICO			DEFICIENCIAS A ESTUDIARSE	
	Vehículos livianos	Vehículos pesados	Total	Ancho de calzada	Carga viva, Soporte
AMOLANAS	1350	651	2001	*	* (IE)
PULLALLY	2235	1082	3317		* (SE)
MAIPO	11294	7400	18694		
CLARO	4332	2867	7199	*	
LONCOMILLA	1199	684	1883		
BIO-BIO	11700	2145	13845	*	* (SE)
RAMADILLAS	1712	1501	3213		* (IE)
MALLECO	2300	1444	3744		* (SE)
PICHOY	1398	484	1882		* (IE)
CAYUMAPU	1398	484	1882		

Referencias.- (IE) : Infraestructura ; (SE) : Superestructura

5) Obsolescencia del puente

Dentro de los puentes objetivo del estudio se puede ver que los puentes Malleco y Maipo son relativamente nuevos. Por el contrario, los puentes Amolanas, Claro, y Bio-Bio Antiguo son los tres puentes más obsoletos. Propiamente dicho, sería conveniente su pronta reposición. Además, si hacemos referencia a los resultados obtenidos en los ensayos de carbonatación los puentes Ramadillas, Pichoy y Cayumapu presentan un estado por demás crítico de carbonatación del hormigón.

En cuanto al estado de deterioro y vejez de la losa se refiere, puede verse que los puentes Amolanas, Pullally y Bio-Bio Antiguo tienen serios problemas de capacidad portante por lo cual requieren de contramedidas fundamentales. Finalmente, las dimensiones de las cabezas de apoyo en las cepas de los puentes Ramadillas y Pichoy son insuficientes, y a pesar que el hormigón no se encuentra demasiado carbonatado existen partes cuya reposición es recomendable.

6) Deterioro de la estructura

A continuación se hace una presentación del deterioro de cada elemento estructural y las contramedidas respectivas que deberán adoptarse. Cabe señalar que dichas contramedidas de reparación y refuerzo deberán adoptarse aunque el grado de deterioro sea leve (ver Tabla 4–3).

7) Factores inherentes al diseño original

Comúnmente los errores de diseño pueden ser ocasionados por la insuficiencia de datos de estudio o por imperfecciones de las normas de diseño. Por otra parte, deficiencias constructivas o carencia de apropiadas técnicas constructivas (o maquinaria y equipos), y además, problemas de tipo económico o de costos, casi siempre son los principales factores responsables de las deficiencias futuras de cualquier puente. Frecuentemente estos factores están relacionados fundamentalmente con las características del puente, y generalmente son fundamentales en el requerimiento de contramedidas (ver Tabla 4–4).

8) Estructuras anti–sísmicas de los puentes

En la Tabla 4–5 se muestran las condiciones de juicio para los requerimientos de contramedidas antisísmicas cuestionando puntos tales como: si el puente en general tiene suficiente resistencia ante movimientos sísmicos; o que si la estructura del puente en general, o partes de él son fácilmente afectados por sísmos, o si el puente está ubicado en un estrato que fácilmente podría ser afectado por sísmos.

9) Deformaciones admisibles de la estructura

Se pudieron observar varios puentes con deformaciones y asentamientos de las fundaciones, inclinaciones de cepas ocasionados por bajos módulos resistentes del terreno, vigas de excesiva altura o cepas demasiado altas que sufrieron pandeo y deformaciones por torsión (ver Tabla 4–6). Al respecto se debe hacer una optima investigación y ordenamiento de las deformaciones y las causas que las ocasionaron.

Tabla 4-3 : DETERIORO Y CONTRAMEDIDAS NECESARIAS

PUENTE	L	V	T	E	C	F	PARTES AFECTADAS Y CONTRAMEDIDAS NECESARIAS
AMOLANAS	*	*		*	*		Losa, Cepas
PULLALLY	*	*	*		*	*	Losa, Vigas
MAIPO			*		*	*	Reparación de cabezas de apoyo en cepas, protección de fundaciones
CLARO		*				*	Protección contra socavación, reparación de arcos
LONCOMILLA				*	*	*	Refuerzo de cepas, protección de fundaciones
BIO-BIO	*	*	*	*	*	*	Sujeción de vigas, reparación de losa
RAMADILLAS		*	*		*	*	Reparación de cabezas de apoyo, pilotes adicionales
MALLECO		*	*		*	*	Refuerzo de vigas y travesaños, refuerzo antisísmos
PICHOY		*	*	*	*	*	Reparación de cabezas de apoyo, pilotes adicionales
CAYUMAPU		*		*	*	*	Reparación de articulaciones Gerber, reposición de infraestructura

Referencias.- L:Losa, V:Viga, T:Travesaño, E:Estribo, C:Cepa, F:Fundación

Tabla 4-4 : FACTORES INHERENTES AL DISEÑO

NOMBRE DEL PUENTE	E	N	C	T	EC	DEFICIENCIA O FALENCIA
AMOLANAS		*	*			Diseño contra vibraciones, contraflecha de la losa
PULLALLY	*	*				Sección insuficiente de la viga principal
MAIPO		*				Diseño antisísmico
CLARO						
LONCOMILLA	*			*		Profundidad insuficiente del hincado de los pilotes
BIO-BIO	*	*		*	*	Longitud de tramos
RAMADILLAS	*	*	*			Profundidad insuficiente del hincado de los pilotes, dimensiones de cabezas de apoyo en cepas
MALLECO	*	*				Deslizamiento de taludes, diseño antisísmico
PICHOY	*	*				Profundidad insuficiente del hincado de los pilotes, dimensiones de cabezas de apoyo en cepas
CAYUMAPU	*					Profundidad de hincado de los pilotes, apoyos Gerber

Referencias.- E : Estudios de suelos insuficientes
N : Error en normas o sistema de diseño
C : Construcción deficiente
T : Técnicas constructivas deficientes
EC: Problemas económicos

Tabla 4-5 : PARTES VULNERABLES A MOVIMIENTOS SÍSMICOS

NOMBRE DEL PUENTE	ESTRUCTURA DEL PUENTE EN GENERAL	PARTES ESPECIALES DEL PUENTE	TERRENO DE FUNDACIÓN	PARTES AFECTADAS
AMOLANAS	*	*		Estructura de cepas, apoyos, alineamiento vertical con gran pendiente
PULLALLY			*	Fundaciones
MAIPO	*	*		Travesaños, cepas independientes
CLARO				
LONCOMILLA				
BIO-BIO		*	*	Apoyos para vigas
RAMADILLAS		*	*	Apoyos, terreno de fundación muy blando
MALLECO	*	*	*	Estructura de cepas, cepas independientes
PICHOY		*	*	Apoyos, terreno de fundación muy blando
CAYUMAPU		*	*	Apoyos, terreno de fundación muy blando

Tabla 4-6 : TIPOS DE DEFORMACIONES OBSERVADAS

NOMBRE DEL PUENTE	SUPERFICIE			SUPERESTRUCTURA		INFRAESTRUCTURA		
	Torsión	Asentamiento	Desplazamientos	Pandeo	Flexión	Asentamiento	Inclinación	Pandeo
AMOLANAS	*	*	*		*		*	*
PULLALLY			*	*	*			
MAIPO		*				*		
CLARO								
LONCOMILLA		*	*				*	
BIO-BIO	*	*	*			*		
RAMADILLAS	*	*	*	*	*	*		
MALLECO				*	*	*	*	*
PICHOY	*	*	*			*		
CAYUMAPU							*	

10) <u>Ruta alternativa</u>

La necesidad o la no-necesidad de la interrupción del tráfico, en trabajos de rehabilitación de puentes es muy determinantes para la selección del método constructivo a utilizarse. Existen trabajos de reparación de la infraestructura en los cuales es conveniente retirar temporalmente la superestructura; empero, cuando la interrupción del trafico no es factible, los métodos de rehabilitación y los constructivos son notablemente afectados.

4-3 RESUMEN DEL DISEÑO DE REHABILITACIÓN

Una vez efectuado el análisis del diseño, se presenta el resumen de los métodos de refuerzo o reparaciones recomendables.

Tabla 4-7 : MÉTODOS DE REPARACIÓN Y REFUERZOS PARA LOS 10 PUENTES

	Método de reparación o refuerzo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
LOSA	Nueva losa vaciada en sitio	O	O		O						
	Nueva losa prefabricada	O	O		*						
	Nueva losa metálica		O								
	Nueva losa nervada c/riel simple		O								
	Nueva losa c/paneles metálicos		O								
	Adhesión de placas de acero		*				O				
	Aplicación de fibras FRP		O				O				
	Aplicación de morteros lanzados				O						
	Inyección de resinas	*	*	O			*	O			
	Reparación por parcheo						*				
ENTRAMADO	Reposición de vigas principales	O	O								
	Adhesión de viguetas				O						
	Aplicación de vigas adicionales		O				O	O	O	O	
	Vigas transversales adicionales		O				O				
	Refuerzo de vigas principales	O	O		*				O	O	
	Reducción de luz libre de diseño		O								
	Cables de postensado adicional		O						O		
	Refuerzo de travesaños		O	O			O	O	O	O	O
	Reparación de apoyos Gerber										*

(continúa)

(continuación de Tabla 4-7)

	Método de reparación o refuerzo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
INF. EST	Ampliación de mesas de apoyo	*	*	O			*	*		*	*
	Reparación y refuerzo de cepas	*		O	*	*	O	*	O	O	O
	Refuerzo de fundaciones		O		*	*		*		*	O
	Reposición total de infraestructura	O				O		O	*	O	*
OTROS	Juntas	*		*		*	O	*		*	*
	Apoyos					*	O	*	*	*	*
	Protectores contra colapsos	O	O	*			*	O		*	
	Pinturas		*				O	*	*	*	
	Barandado				*	*	O				
	Losas de acceso	*								*	*
	Pavimento	*	O		*					*	*
	Protectores contra socavación		*	*	*	*	O	O		O	*

Simbología.-

* : Método a aplicarse en términos generales del diseño de reparación.

O :Método estudiado comparativamente con los términos generales del diseño de reparaciones. Pero, éstos no incluyen trabajos de reposición.

Nombres de los puentes.-

1 : Amolanas, 2: Pullally, 3: Maipo, 4: Claro, 5: Loncomilla,
6 : Biobio, 7: Ramadillas, 8: Malleco, 9: Pichoy, 10: Cayumapu

5. PROPOSICIÓN DEL PLAN DE REHABILITACIÓN DE PUENTES

5-1 CRITERIOS DE LA PROPOSICIÓN

5-1-1 PLAN DE REHABILITACIÓN DE PUENTES EN CHILE

El presente estudio tiene como una de sus principales finalidades, el plantear un programa de conservación y rehabilitación de puentes, que cuente con una metodología técnica y económicamente óptima, y que esté destinada a garantizar la seguridad del tráfico y proveer una ideal administración del mantenimiento de los puentes ubicados sobre la Ruta 5, que es la ruta más importante de la red vial de Chile.

Por medio de las inspecciones efectuadas en el presente estudio, se pudo verificar que una gran mayoría de los puentes de la Ruta 5 se encuentran en un avanzado estado de envejecimiento y con un grado de deterioro muy grave.

Vale recordar que un puente es el componente principal de una red vial, pues cuando las funciones primordiales de un puente se pierden, se generan problemas económicos y sociales que afectan no solo a las regiones aledañas a éste, sino que a todo el país. Además, debido a que la Ruta 5 es la arteria más importante del sistema vial del país, cuyos volúmenes de tráfico se han incrementado rápidamente al ritmo del desarrollo económico, las pérdidas de beneficios e intereses que pudieran ocasionarse por la perdida total o parcial de las funciones de los puentes sería de una magnitud incalculable. Consecuentemente, la implementación de apropiadas actividades de conservación y rehabilitación de puentes para ésta ruta es considerada como fundamental y de mayor importancia para Chile.

En Chile, paralelamente con la ejecución del presente proyecto, se vienen realizando reparaciones de emergencia, ensanchamiento de calzadas para puentes cuya capacidad de tránsito ha sido vencida, proyectos auto-subvencionados de diseño y/o construcción para la reposición de puentes, etc. Especialmente en los cruces ubicados en las Regiones 6 y 7, donde de acuerdo al plan nacional, se vienen ejecutando trabajos de rehabilitación a gran escala y ampliación de las rutas nacionales de importancia. Es por esto que varios puentes (por ejemplo: Maule y Piduco) ya están siendo repuestos, coincidiendo con el resultado nuestro estudio donde se recomienda esta medida.

5-1-2 PROPOSICIÓN DEL PLAN DE REHABILITACIÓN DE PUENTES

El análisis de los elementos de juicio de prioridades de rehabilitación involucra muchos factores. Al respecto, es conveniente que las prioridades asignadas en este análisis, considere en forma conjunta, factores técnicos tales como el grado de deterioro de los puentes, funcionalidad, etc, factores constructivos y además otros factores de importancia socio-económica tales como los costos de rehabilitación, volúmenes de tráfico, planes de desarrollo regional, política interna, etc. En este estudio, en base a los datos y resultados obtenidos en el estudio preliminar, se realizó una evaluación del grado de deterioro, y con esto, la selección y determinación de los requerimientos de rehabilitación, y la respectiva estimación de costos.

La proposición del plan se realiza seleccionando las prioridades de rehabilitación para los puentes objetivo ubicados sobre la Ruta 5, tomando en cuenta las siguientes condiciones y procedimiento:

1. Se hace una comparación en general para todos los puentes ubicados en la Ruta 5, sin tomar en cuenta que por parte de Chile se estén efectuando planes o trabajos de rehabilitación o no.
2. Se determinan las prioridades de rehabilitación desde un punto de vista netamente técnico que considere factores tales como el grado de deterioro, las funciones del puente, tipo de estructura, etc.
3. Se determinan los métodos estándar de rehabilitación y de estimación de costos respectivamente, para las partes afectadas de los puentes cuyo grado de deterioro haya sido evaluado entre los rangos 4 y 5.
4. Cálculo de costos estimados de las rehabilitaciones estándar, para cada puente que esté ubicado sobre la Ruta 5.
5. Cálculo de costos constructivos para los trabajos de rehabilitación, y de los índices de crecimiento de los volúmenes de tránsito.
6. Preparación de cuadros de los índices o parámetros de evaluación de los puentes, ordenados según sus prioridades de rehabilitación determinados en el punto 2.

5-2 PLAN DE REHABILITACIÓN DE PUENTES PARA LA RUTA 5

Las prioridades de rehabilitación se planificaron tomando en cuenta la puntuación que cada puente haya obtenido en la evaluación total (TE). Así, si se trata de hacer un listado de los puentes cuya rehabilitación sea considerada de emergencia absoluta, los puentes candidatos serían los que se muestran en la Tabla 5-1. En resumen, se excluyeron los siguientes puentes:

1. Puentes cuya rehabilitación, reposición o plan de reparaciones esté ya determinado con anterioridad.
2. Puentes cuyo grado de deterioro, de las partes que requieran ser rehabilitadas, no sea igual a 5, aunque el TE sea elevado.
3. Puentes que, independientemente del grado de deterioro, esté mal la estructura misma, la ubicación de emplazamiento, etc. y que una simple rehabilitación es insuficiente para su corrección.

Tabla 5-1 : PUENTES CUYA REHABILITACIÓN ES DE EMERGENCIA ABSOLUTA

NO	NO	NOMBRE	REG	COST (x1000 PS)	ADT	BA	COST/ ADT	COST/ BA*ADT	TE	L	S	I
1	29	PULLALLY	5	48916	4095	1552	11945	7.7	129	4	4	5
2	70	ANTIVERO PONIEN	6	26511	18182	1574	1458	0.9	120	5	4	3
3	53	PS TENIENTE PON	6	34990	15340	338	2281	6.7	130	4	4	5
1	137	DIGUILLIN	8	163725	12644	683	12949	19.0	124	4	5	5
2	123	NINQUIHUE	8	13313	6485	206	2053	10.0	130	4	4	5
3	140	LAJITA	8	8422	6593	304	1277	4.2	128	4	5	4
4	117	NIQUEN	8	4232	6485	261	653	2.5	122	4	5	3
5	142	BATUQUITO	8	65542	6593	144	9941	69.0	130	4	4	5
6	141	BATUCO	8	11192	6593	331	1698	5.1	125	5	4	4
7	152	BUREO	8	33899	5659	1408	5990	4.3	132	5	4	4
8	143	SALTO DEL LAJA	8	166744	6593	1187	25291	21.3	121	5	5	4
9	160	CHAMICHACO	9	5176	4366	163	1186	7.3	130	5	4	4
10	159	HUEQUEN	9	75540	4366	233	17302	74.3	125	5	5	5
11	165	CHANCO	9	6076	5429	203	1119	5.5	120	5	4	3
12	156	MININCO	9	29034	5659	588	5131	8.7	132	4	5	4
13	161	DUMO	9	85112	4366	294	19494	66.3	118	4	5	3
14	166	QUINO	9	79212	5429	578	14591	25.2	124	4	4	5
15	168	PS PUA	9	8620	5429	314	1588	5.1	123	5	4	4
16	213	RAHUE	10	62582	2898	1539	21595	14.0	123	5	5	5
17	233	TRAPEN BAJO	10	5853	2794	360	2095	5.8	113	4	5	3
				934691								

ADT : Volumen de tránsito promedio diario
BA : Área del puente
TE : Evaluación total de prioridades de rehabilitación
L : Grado de deterioro de la losa
S : Grado de deterioro de la superestructura
I : Grado de deterioro de la infraestructura

6. GUÍA DE INSPECCIÓN PARA EL MANTENIMIENTO DE PUENTES

Un puente es uno de los elementos estructurales de que está compuesto un sistema vial, y que normalmente su implementación requiere de grandes costos para su construcción y posterior mantenimiento. Es también, debido a sus características funcionales, el elemento más factible a ser afectado por desastres naturales; y cuando llega el momento en que el puente no es apto para cumplir con sus básicas funciones, puede ocasionar grandes problemas no solo al sistema de caminos, sino que a la estabilidad y seguridad social. Además, la restauración de sus funciones representa costos muy elevados y requiere períodos de tiempo considerables. Por tanto, las actividades del mantenimiento de puentes juegan un papel muy importante para preservar la seguridad, fluidez y comodidad del tráfico en los caminos.

Esta Guía está preparada para ingenieros cuya labor está estrechamente relacionada con el mantenimiento de puentes, y tiene la finalidad de introducir los conceptos básicos, métodos y normas de la inspección estándar de puentes, y subsecuentemente el mantenimiento. Por tanto, vale aclarar que no se tiene la intención de cubrir con todas las metodologías de inspección, y tampoco de detallar minuciosamente los métodos de rehabilitación.

En términos generales la Guía está compuesta de los siguientes tópicos:

1. Conceptos básicos de inspección y mantenimiento de puentes.
2. Definiciones de términos utilizados en la ingeniería de puentes.
3. Procedimientos estándar de las inspecciones periódicas.
4. Evaluación de los resultados de la inspección, y criterios de evaluación.
5. Métodos estándar de rehabilitación.
6. Procedimientos estándar de las inspecciones especializadas.
7. Ejemplos de métodos de rehabilitación.

La preparación de esta Guía ha sido realizada paralela al presente informe y está impreso bajo el título de "Guía de Inspección para Mantenimiento de Puentes".

7. SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE MANTENIMIENTO DE PUENTES

7-1 CONCEPTOS BÁSICOS DEL SISTEMA

Éste es un sistema de apoyo (herramienta) destinado a la planificación científica y racional de la rehabilitación de puentes. Para esto, utiliza un microcomputador para el almacenamiento de los datos relacionados al estudio de puentes creando una "Base de datos".

El sistema fue diseñado de tal forma de poder confeccionar un plan de inspecciones, diagnóstico y prioridades de rehabilitación. La composición básica del sistema está ilustrada por el diagrama de flujo de la Figura 7-1.

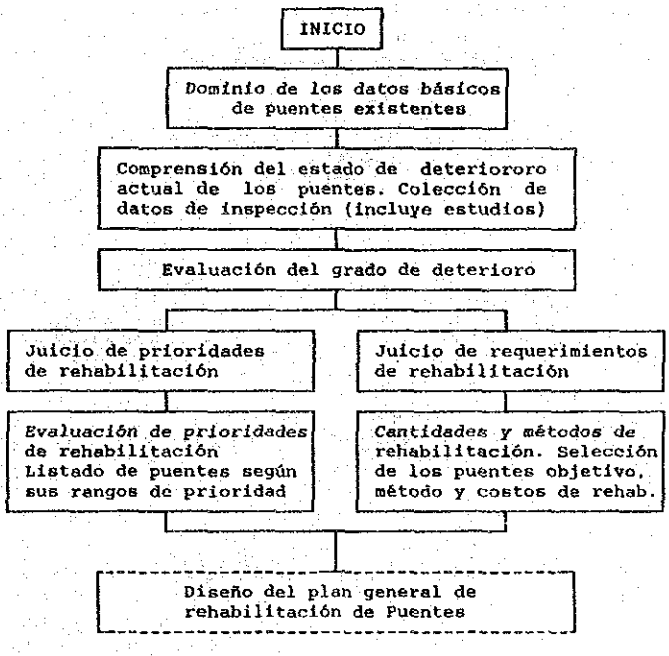


Figura 7-1 : COMPOSICIÓN BÁSICA DEL SISTEMA

Si ilustramos la composición del sistema por medio de diagramas de flujo, obtendremos el diagrama de la Figura 7-2 para el sistema "software", y el de la Figura 7-3 para el sistema "hardware".