



Rio Chirripo



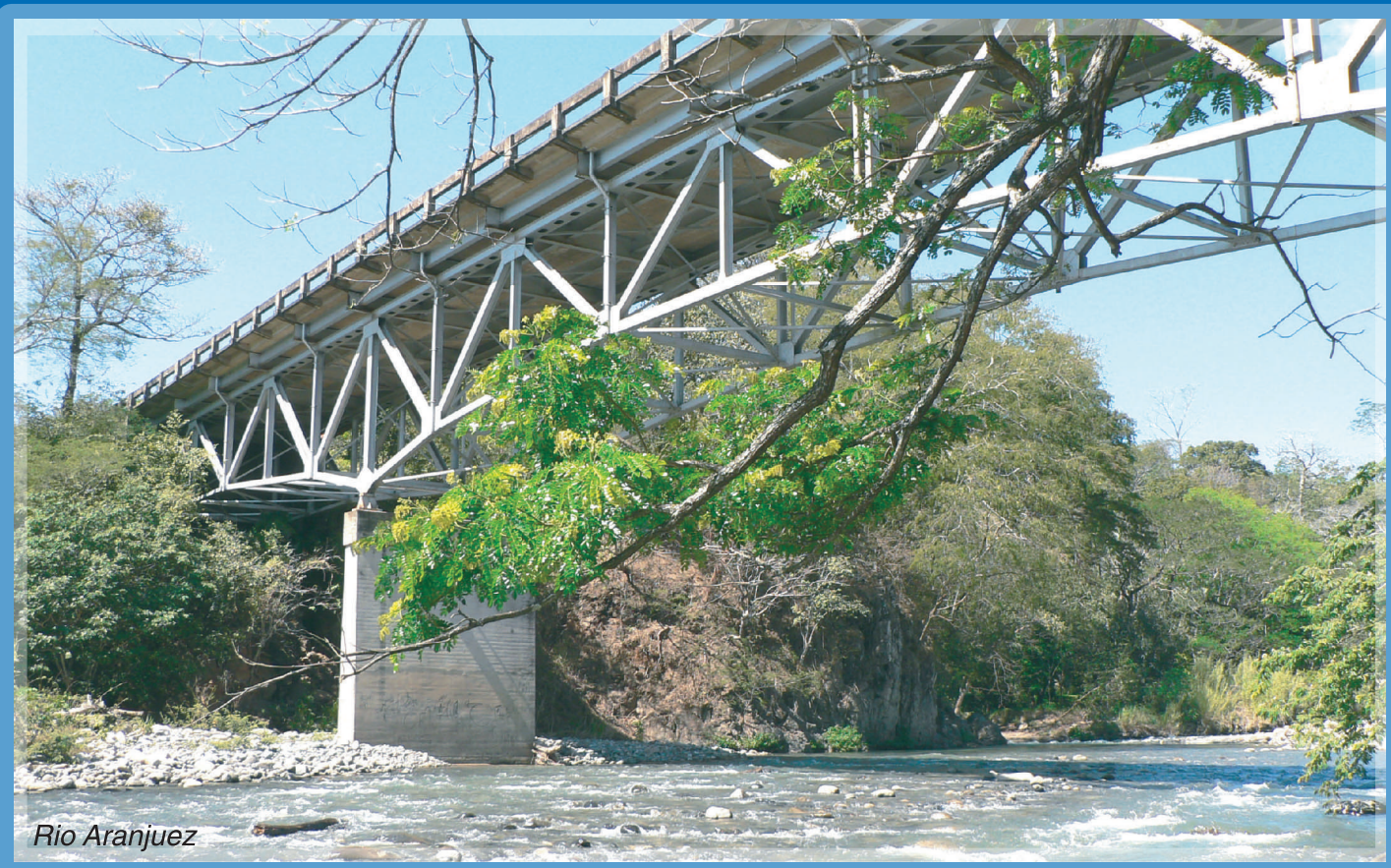
Rio Abangares



Rio Sucio

Lineamiento para Mantenimiento de Puentes

Primera Edición



Rio Aranjuez

Enero 2007

TABLA DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Propósito de los Lineamientos	1
1.2	Alcance de los Lineamientos	1
CAPÍTULO 2	RESUMEN DE LOS LINEAMIENTOS	2
CAPÍTULO 3	SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE PUENTES	3
3.1	Generalidades	3
3.2	Evaluación de las Deficiencias del Puente	4
3.2.1	Introducción	4
3.2.2	Método de Evaluación de las Deficiencias del Puente	4
3.2.3	Resultado de los Cálculos	13
3.3	Priorización de la Reparación	14
3.3.1	Peso para Evaluación	14
3.3.2	Evaluación de la Deficiencia Estructural	16
3.3.3	Evaluación de la Obsolescencia Funcional	17
3.3.4	Puente de Evaluación para Esencialidad de la vía	19
3.3.5	Evaluación por el Tipo Estructural	20
3.4	Estimación de Costos para Reparación de Puentes	21
3.4.1	Generalidades	21
3.4.2	Precio Unitario para cada Método de Reparación	21
3.4.3	Método para Cálculo de Costo de Reparación	22
3.4.4	Evaluación de la Magnitud de la Reparación	23
CAPÍTULO 4	IDENTIFICACION DE DETERIORO.....	24
4.1	Clasificación de la Deficiencia/ Deterioro	24
4.2	Causas y Mecanismos de Deficiencia/ Deterioro	26
CAPÍTULO 5	INSPECCIÓN DETALLADA	27
5.1	Clasificación de la Inspección Detallada	27
5.2	Método de Inspección	28
5.3	Hojas de Inspección y Registro	39
CAPÍTULO 6	ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y PRUEBA DE CARGA DE PUENTES	41
6.1	Método Analítico	41
6.1.1	Análisis Estructural	41
6.1.2	Modelo para el Análisis	42
6.2	Prueba de Carga de Puentes	45
6.2.1	Introducción.....	45
6.2.2	Situaciones que se Necesitan para la Prueba de Carga de Puentes	45
6.2.3	Capacidad de Carga	46

6.2.4	La Durabilidad de la Fatiga	47
6.2.5	Método de Medición de la Deflexión y el Esfuerzo	53
6.2.6	Prueba de Carga de Puentes	56
CAPÍTULO 7	DISEÑO	61
7.1	Generalidades.....	61
7.1.1	Tipos de Medidas Correctivas.....	61
7.1.2	Nivel Objetivo del Desempeño del Puente	65
7.2	Medida Correctiva	66
7.2.1	Losa	66
7.2.2	Sistema de Cubierta de Acero	77
7.2.3	Losa de Concreto Reforzado	84
7.2.4	Puentes de Vigas I Prefabricadas	95
7.2.5	Puente de Cajón Prefabricado	102
7.2.6	Puente de Viga tipo I de Acero	104
7.2.7	Puente de Cercha de Acero.....	111
7.2.8	Subestructura (Viga Cabezal, Pila y Columna)	120
7.2.8.1	Método de Refuerzo	120
7.2.8.2	Resumen del Método y Puntos Clave del Diseño y Construcción para Refuerzo	121
7.2.8.3	Metodología para Diseño de Refuerzo de Viga y Pila	131
7.2.9	Fundaciones.....	132
7.2.9.1	Generalidades.....	132
7.2.9.2	Método de Refuerzo	133
7.2.9.3	Metodología para Diseño de Refuerzo de Fundación	145
7.2.10	Accesorios	148
7.2.11	Sistema de Prevención de Asientos	159
7.2.11.1	Objetivo de Desempeño Sísmico.....	159
7.2.11.2	Concepto Básico de Sistema de Prevención de Asiento	159
7.2.11.3	Metodología de Diseño de Sistema de Prevención de Asiento	163
CAPÍTULO 8	MEDIDAS DE SEGURIDAD.....	177
8.1	Accesos de Inspección y Seguridad.....	177
8.1.1	Requerimientos de Acceso	177
8.1.2	Seguridad del Personal.....	179
8.2	Medidas de Control de Táfico	180

LISTA DE TABLAS

Tabla 3.2.1.	Hoja de Inspección de Puentes	5
Tabla 3.2.2.	Escala de Importancia Relativa	8
Tabla 3.2.3.	Escala de Importancia Relativa	9
Tabla 3.2.4.	Peso del Daño en Pavimento	9
Tabla 3.2.5.	Peso del Daño en Baranda	10
Tabla 3.2.6.	Peso de las Partes de un Grupo de Accesorios	10
Tabla 3.2.7.	Peso de las Partes en un Grupo de Superestructura de un Puente de Acero	10
Tabla 3.2.8.	Peso de Componentes de Puente.....	11
Tabla 3.2.9.	Peso de Evaluación de Ítems para Puentes de Acero	13
Tabla 3.3.1.	Punto de Evaluación Máximo para Priorización de Reparación de Puentes	14
Tabla 3.3.2.	Prioridad Establecida para Nivel 2	15
Tabla 3.3.3.	Prioridad Establecida para Nivel 1 (Diferencia Estructural).....	15
Tabla 3.3.4.	Prioridad Establecida para Nivel 1 (Obsolescencia Funcional).....	15
Tabla 3.3.5.	Prioridad Establecida para Nivel 2 (Características).....	15
Tabla 3.3.6.	Selección de los Grados de Daño para Reparación de Componentes principales de Puentes	16
Tabla 3.3.7.	Puntos de Evaluación para daño Estructural	17
Tabla 3.3.8.	Carga Viva Requerida	17
Tabla 3.3.9.	Cargas Vivas para Diseño de Puentes.....	17
Tabla 3.3.10.	Puntos de Evaluación por el Tráfico Promedio Diario (TPD)	19
Tabla 3.3.11.	Puntos de Evaluación Basados en los Grados de la Vía	20
Tabla 3.3.12.	Puntos de Evaluación por Longitud de Desvío	20
Tabla 3.4.1.	Costo Unitario para Métodos Típicos de Reparación (1/2)	21
Tabla 3.4.1.	Costo Unitario para Métodos Típicos de Reparación (2/2)	22
Tabla 3.4.2.	Costo Unitario Básicos para Métodos de Reparación	22
Tabla 3.4.3.	Cálculo de la Magnitud de Reparación.....	23
Tabla 3.4.4.	Rango de Magnitud de Reparación	23
Tabla 4.1.1.	Clasificación del Deterioro.....	24
Tabla 4.2.1.	Causas, Mecanismos y Fenómenos de Deterioro.....	26
Tabla 5.1.1.	Clasificación de la Inspección Detallada	27
Tabla 5.3.1.	Hoja de Inspección Detallada (1/2)	39
Tabla 5.3.2.	Hoja de Inspección Detallada (2/2)	40
Tabla 6.1.1.	Métodos para el Análisis Estructural	41
Tabla 6.1.2.	Puntos de Verificación para hacer el Modelo Estructural	42
Tabla 6.2.1.	Relación entre El esfuerzo y la Fatiga	47
Tabla 6.2.2.	Ejemplo de la Tabla de Resumen para la Frecuencia de Esfuerzo	50
Tabla 6.2.3.	Tipos de Pruebas de Carga de Puentes	56

Tabla 6.2.4.	Clasificación de los Vehículos para el estudio del volumen de Tráfico	60
Tabla 7.1.1.	Mecanismos de Deterioro y Plan de Reparación	63
Tabla 7.1.2.	Mayoría de Métodos de Refuerzo	64
Tabla 7.1.3.	Medidas Correctivas Clasificadas por Nivel de Rendimiento Objetivo	65
Tabla 7.2.1.	Métodos Correctivos para la Losa	66
Tabla 7.2.2.	Métodos de Reparación para la Losa	67
Tabla 7.2.3.	Métodos de Refuerzo para la Losa	68
Tabla 7.2.4.	Características de la Hoja de Fibra de Carbono Típica	72
Tabla 7.2.5.	Métodos Correctivos para Sistemas de Cubierta de Acero	77
Tabla 7.2.6.	Método de Refuerzo para el Sistema de Cubiertas	78
Tabla 7.2.7.	Métodos de Remedio para puentes de Losa de RC	84
Tabla 7.2.8.	Método de Refuerzo de Losa de Concreto Reforzado	85
Tabla 7.2.9.	Métodos Correctivos para Puentes de Vigas I Prefabricadas	95
Tabla 7.2.10.	Métodos de Refuerzo para el Puente de Viga Tipo I prefabricada	96
Tabla 7.2.11.	Métodos correctivos para el Puente de Cajón prefabricado	102
Tabla 7.2.12.	Método de Refuerzo para el Puente de Cajón prefabricado	103
Tabla 7.2.13.	Métodos Correctivos para el Puente de Viga Tipo I de Acero	104
Tabla 7.2.14.	Método de Refuerzo de Puentes de Vigas I de Acero	105
Tabla 7.2.15.	Métodos Correctivos para el Puente de Cercha de Acero	111
Tabla 7.2.16.	Métodos de Refuerzo para Puentes de Cecha de Acero	112
Tabla 7.2.17.	Método de Contramedida ante Socavación	144
Tabla 7.2.18.	Relación entre el Peso del Bloque de Concreto y la Velocidad	145
Tabla 7.2.19.	Propuesta de Accesorios	148
Tabla 7.2.20.	Daños en el Pavimento Asfáltico y Contramedidas	149
Tabla 7.2.21.	Juntas Abiertas (Juntas de Expansión Tipo Drenadotas)	156
Tabla 7.2.22.	Juntas Abiertas (Junta de Expansión Tipo Drenaje)	157
Tabla 8.2.1	Distancia entre Señales (en metros)	181

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.2.1.	Sistema de Administración Total de Puentes	1
Figura 3.1.1.	Concepto del Sistema de Administración de Puentes (SAP)	3
Figura 3.2.1.	Jerarquías de Componentes de Puentes	7
Figura 3.3.1.	Razón L	18
Figura 5.3.1.	Resultados de la Inspección Detallada (Diagrama del Deterioro/Fotografía).....	40
Figura 6.1.1.	Modelo Estructural para el Puente de Cercha.....	43
Figura 6.1.2.	Modelo Estructural para Puentes de Marco Rígido de Concreto ..	43
Figura 6.1.3.	Modelo Estructural para el Puentes de Vigas Múltiples de Acero ..	44
Figura 6.2.1.	Secuencia de Evaluación para la Capacidad de Carga	46
Figura 6.2.2.	Partes del Puente Afectadas por la Fatiga	47
Figura 6.2.3.	Secuencia de la Evaluación de Durabilidad por Fatiga	48
Figura 6.2.4.	Imagen del Método del Flujo Pluvial.....	49
Figura 6.2.5.	Número Repetido Acumulado.....	50
Figura 6.2.6.	Imagen del Grado Acumulado de Fatiga	51
Figura 6.2.7.	Expectativa de Vida y Volumen de Trafico Acumulado	52
Figura 6.2.8.	Equipo de medición de la Deflexión	53
Figura 6.2.9.	Ejemplo del Método de Medición de la Deflexión (1)	53
Figura 6.2.10.	Ejemplo del Método de Medición de la Deflexión (2)	54
Figura 6.2.11.	Esfuerzo y Deformación	54
Figura 6.2.12.	Strain Gauge.....	55
Figura 6.2.13.	Detalle del Strain Gauge.....	55
Figura 6.2.14.	Flujo de la Prueba de Carga Estática.....	57
Figura 6.2.15.	Flujo de la Prueba de Carga Dinámica.....	58
Figura 6.2.16.	Flujo de la Prueba de Tráfico Real	59
Figura 7.2.1.	Programa del Diseño para Incrementar el Espesor de la Losa.....	69
Figura 7.2.2.	Momento y Esfuerzo debido a la Carga Muerta	70
Figura 7.2.3.	Momento y Esfuerzo debido a la Carga Viva	70
Figura 7.2.4.	Esfuerzo debido a la Carga Viva y a la Carga Muerta	71
Figura 7.2.5.	Curva de Esfuerzo/ Deformación	72
Figura 7.2.6.	Programa del Diseño para la Losa del la Adherencia FRP	73
Figura 7.2.7.	Momento y Esfuerzo debido a la Carga Muerta	74
Figura 7.2.8.	Momento y Esfuerzo debido a la Carga Viva	74
Figura 7.2.9.	Esfuerzo debido a la Carga Muerta y la Carga Viva	75
Figura 7.2.10.	Selección de Programación para la Reparación o Refuerzo para la Losa	76
Figura 7.2.11.	Programa del Diseño para el Diafragma por el Incremento de la	

	Sección del Miembro.	79
Figura 7.2.12.	Esfuerzo Producido por la Carga Muerta y la Carga Viva.....	80
Figura 7.2.13.	Programa del Diseño para el Larguero Usando el Método de Cambiar de Viga Simple a Viga Continúa.	81
Figura 7.2.14.	Esfuerzo debido a la Carga Muerta y a la Carga Viva	82
Figura 7.2.15.	Programa de Selección para Reparación o Refuerzo del Sistema de Cubierta de Acero.....	83
Figura 7.2.16.	Programa de Diseño para la Viga de Concreto Reforzado al Incrementar la Sección.....	86
Figura 7.2.17.	Esfuerzo en Refuerzo de Viga de RC con Incremento de Peralte de Viga	87
Figura 7.2.18.	Programa de Diseño para la Viga de Concreto Reforzado con un Refuerzo de Adherencia FRP.....	88
Figura 7.2.19.	Esfuerzo en Refuerzo de Viga de RC con Adherencia de FRP	89
Figura 7.2.20.	Programa de Diseño para la Viga de Concreto Reforzado con un Refuerzo de Placas de Acero.....	90
Figura 7.2.21.	Esfuerzo de la Viga de Concreto Reforzada al Adherir Placa de Acero	91
Figura 7.2.22.	Programa de Diseño para la Viga de Concreto Reforzado con un Refuerzo por Cable Externo.....	92
Figura 7.2.23.	Esfuerzo de las Vigas RC debido a Adición de Cable Externo	93
Figura 7.2.24.	Programa de Selección para Reparación o Refuerzo del Losa de RC.....	94
Figura 7.2.25.	Programa de Diseño de Método de Adherencia de FRP	97
Figura 7.2.26.	Imagen del Esfuerzo de Tensión de la Viga tipo I Prefabricada	98
Figura 7.2.27.	Programa de Diseño para Viga de Concreto Reforzado al Adherir Placa de Acero.....	99
Figura 7.2.28.	Esfuerzo para la Viga tipo I Prefabricada Reforzada al Añadir un Cable Externo	100
Figura 7.2.29.	Programa de Selección para Reparación o Refuerzo de Vigas I PC.....	101
Figura 7.2.30.	Programa de Diseño para el Puente de Vigas de Acero I por el Incremento de Dimensiones.....	106
Figura 7.2.31.	Imagen de Esfuerzo de Viga I de Acero.....	107
Figura 7.2.32.	Programa de Diseño para Refuerzo de Vigas I de Acero por Cable Externo Adicional	108
Figura 7.2.33.	Imagen de Esfuerzos en Viga I de Acero	109
Figura 7.2.34.	Programa de Selección para Reparación o Refuerzo de Vigas I de Acero.....	110
Figura 7.2.35.	Programa de Diseño para el Puente de Cercha de Acero Reforzado al Incrementar la Dimensión	113
Figura 7.2.36.	Imagen de Esfuerzo en Cuerda Inferior	114

Figura 7.2.37.	Programa de Diseño para el Puente de Cercha de Acero Reforzado con Miembros Diagonales Adicionales	115
Figura 7.2.38.	Imagen de Esfuerzo en Miembro de Cercha	116
Figura 7.2.39.	Programa de Diseño para Refuerzo de Cerchas de Acero por Medio del Método de Cable Externo	117
Figura 7.2.40.	Imagen del Esfuerzo en la Cuerda Inferior	118
Figura 7.2.41.	Programa de Selección para Reparación y Refuerzo de puentes de Cercha de Acero	119
Figura 7.2.42.	Proceso de Construcción para Incremento de Sección (Altura/Ancho)	122
Figura 7.2.43.	Proceso de Construcción para Preesfuerzo	124
Figura 7.2.44.	Proceso de Construcción para Encamisado de Concreto	126
Figura 7.2.45.	Proceso de Construcción para Rodear con placa de Acero	128
Figura 7.2.46.	Proceso de Construcción para Rodear con Láminas de FRP	131
Figura 7.2.47.	Proceso de Diseño de Aumento de Fundaciones	135
Figura 7.2.48.	Proceso de Construcción para Aumentar Fundación	136
Figura 7.2.49.	Proceso de Diseño de Incremento de Número de Pilotes	139
Figura 7.2.50.	Proceso de Construcción para Incrementar Número de Pilotes	140
Figura 7.2.51.	Relación entre Tamaño de la Piedra y Velocidad	145
Figura 7.2.52.	Juicio de Capacidad de Carga	146
Figura 7.2.53.	Detalle de Impermeabilización	153
Figura 7.2.54.	Diagrama de Flujo para el Mantenimiento de Juntas de Expansión	155
Figura 7.2.55.	Ejemplo de Método para Fijar Nuevas Juntas de Expansión	158
Figura 7.2.56.	Longitud de Asiento para Vigas	163
Figura 7.2.57.	Longitud Entre Subestructuras para Calcular el Punto de la Longitud del Asiento	165
Figura 7.2.58.	La Longitud de Asiento Donde la Dirección Actuante de la Presión de Tierra no Corresponde con la Dirección Longitudinal del eje del Puente	165
Figura 7.2.59.	Concepto de Diseño de Ménsulas de Concreto	166
Figura 7.2.60.	Altura Mínima del Anclaje	166
Figura 7.2.61.	Posición de Instalación de la Estructura de Prevención de Asiento	172
Figura 7.2.62.	Caso de Estructuras de Prevención de Asiento Tipo Cadena	172
Figura 7.2.63.	Estructura para Prevenir la Colocación de la Viga	175
Figura 7.2.64.	Método de Refuerzo de Gozne en Puente en Voladizo	176
Figura 8.2.1	Tipo de Señales Manuales para el Control de Tráfico con Banderas	182
Figura 8.2.2	Componentes de una Zona de Control de Tráfico Temporal	183
Figura 8.2.3	Configuración Típica de los Dispositivos para Cerrar un Carril	

	de una vía con un Volumen Direccional Desequilibrado	184
Figura 8.2.4	Configuración de Dispositivos Típica para un Desvío del Río Dado por Trabajos en el Puente	185
Figura 8.2.5	Configuración de Dispositivos Típica para Cerrar una Calle de una vía en una Carretera de Varios Carriles.	186

LISTA DE FOTOS

Foto 7.2.1.	Caso de Proyección de los Pilotes desde el Cause del Río	143
Foto 7.2.2.	Condición de las Juntas de Expansión	154

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

1.1 Propósito de los Lineamientos

Basado en los resultados de las inspecciones de inventario y de rutina llevada a cabo por inspectores, los ingenieros de puentes deben evaluar las deficiencias en puentes, priorización para reparación de puentes y estimación del costo de reparación del puente, y deberá seleccionar los candidatos para las inspecciones detalladas. Además, los ingenieros de puentes deben juzgar que puentes requieren de reparación/ rehabilitación/ y refuerzo mediante la inspección detallada llevando a cabo el diseño detallado para reparación/ rehabilitación/ y refuerzo. Los trabajos de reparación/ rehabilitación/ y refuerzo serán implementados en base al diseño detallado.

Los lineamientos contienen ideas principales para medidas correctivas para deterioro y anticipar su influencia por incrementos de carga viva/visión de nuevos criterios sísmicos, pero no provee una medida correctiva para daños de emergencia porque estos son por fenómenos especiales.

Se espera que los lineamientos sean utilizados como referencia para la inspección detallada, diseño detallado y trabajos de reparación/ rehabilitación/ y refuerzo, y para mejoras en el mantenimiento de puentes por los ingenieros de puentes de Costa Rica.

1.2 Alcances de los Lineamientos

Los lineamientos son parte del sistema de administración de puentes total. La política básica del sistema de administración de puentes consiste de tres estructuras: 1) Actividades de Inspección, 2) Base de Datos de Puentes y 3) Lineamientos en marco de líneas punteadas, como lo muestra en la Figura 1.2.1.

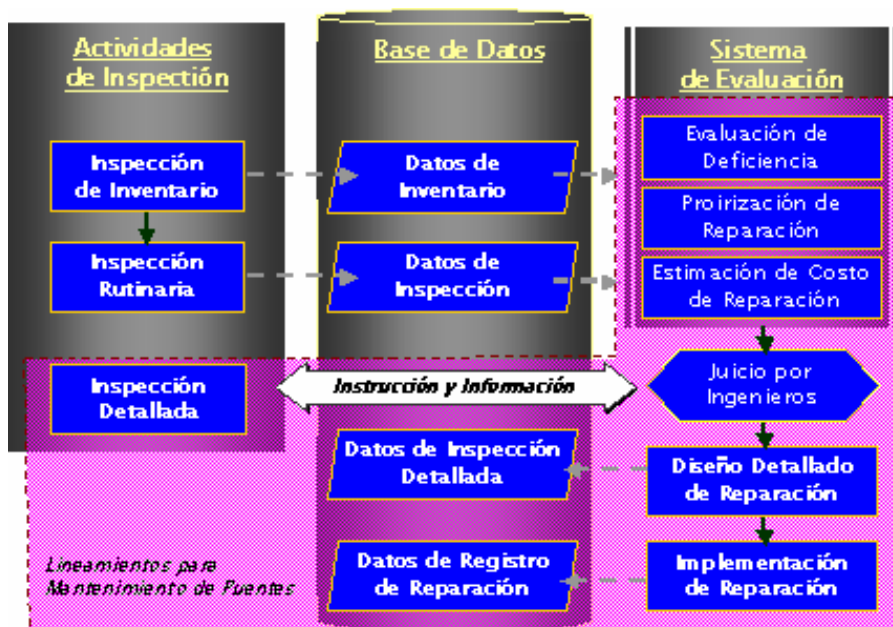


Figura 1.2.1. Sistema de Administración Total de Puentes

Los lineamientos están compuestos por el sistema de evaluación, inspección detallada, diseño detallado para reparación/ rehabilitación/ y refuerzo y la implementación de los trabajos de reparación/ rehabilitación/ y refuerzo. Los datos de la inspección detallada y los resultados de los trabajos de reparación/ rehabilitación/ y refuerzo están almacenados en el Sistema de Administración de Puentes (SAP). La siguiente evaluación pertenece al SAP, sin embargo, la salida del sistema será evaluada por los ingenieros de puentes de acuerdo con los lineamientos.

CAPITULO 2 RESUMEN DE LOS LINEAMIENTOS

La figura 2.1.1. muestra el diagrama de flujo de trabajo del juicio desde necesidad de inspección a implementación de los trabajos de reparación/ rehabilitación/ y refuerzo en el mantenimiento de puentes.

Capítulo 3 provee el sistema de evaluación y procedimientos basados en el SAP.

Capítulo 4 provee la información básica de causas, sistema, clasificación y fenómeno de deficiencia / deterioro, y el conocimiento de ayuda a ingenieros de puentes para comprender precisamente la situación de deficiencia/deterioro y predecir su progreso.

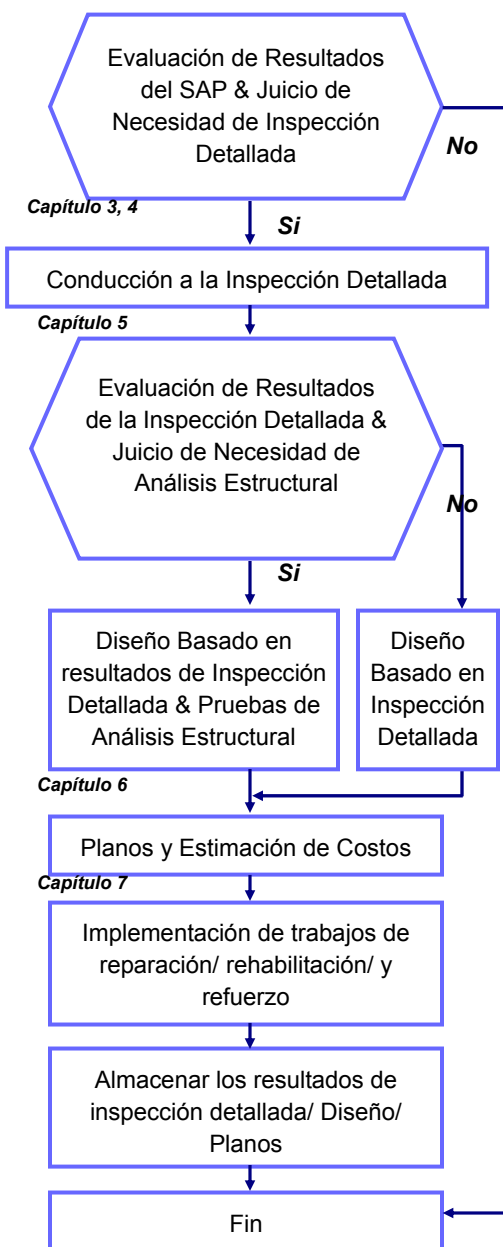
Capítulo 5 provee la clasificación y descripción de los métodos de inspección detallada, formato de hojas de inspección y el método de almacenaje en el SAP

Capítulo 6 provee conceptos de análisis estructural y métodos de prueba de carga. En caso de aplicar en investigación de pruebas de capacidad de carga, desempeño del puente, análisis.

Capítulo 7 provee la clasificación, métodos de diseño, y medidas de corrección a aplicar para cada elemento de puentes y su procedimiento básico de construcción.

Capítulo 8 proveer principios de medidas de seguridad para el mantenimiento de puentes como inspección y trabajos de campo.

Apéndices



3.1 Generalidades

El Sistema de Administración de Puentes (SAP) es la herramienta de soporte de decisión para la administración de la inspección, análisis y mantenimiento de numerosos componentes que componen un puente. El inventario de puentes y los análisis están organizados en el SAP y el método de evaluación de la deficiencia del puente, Priorización de reparación y estimación de costos del puente se discuten en este capítulo. Se incluyen como características del SAP:

1. Mantener un inventario de puentes incluyendo planos y fotos.
2. Mantener datos de inspección del Puente.
3. Evaluación de la Deficiencia del Puente.
4. Priorización de Reparación.
5. Estimación de Costos de Reparación.
6. Mantener una profunda base de datos de inspección de puentes.
7. Mantener historial de reparación y refuerzo de puentes.

El concepto del SAP se muestra en la Figura 3.1.1.

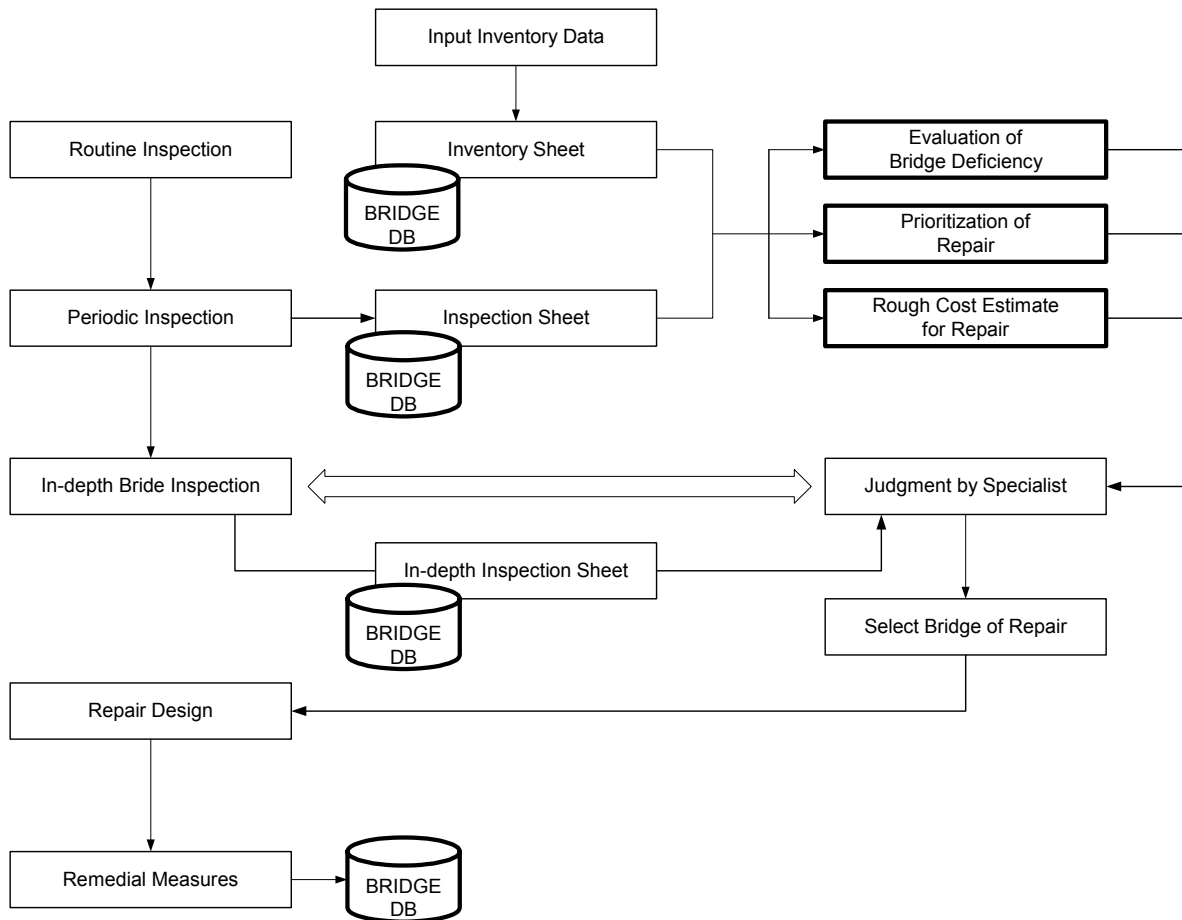


Figura3.1.1. Concepto del Sistema de Administración de Puentes (SAP)

3.2 Evaluación de las Deficiencias del Puente

3.2.1 Introducción

Los estudios en el sitio incluyen la investigación de las condiciones naturales alrededor del puente y la inspección de daños que debe ser llevada a cabo. La información de los estudios de campo es almacenada basada en las hojas de inspección como muestra la Tabla 3.2.1. para el proceso de evaluación de la deficiencia, es necesario definir el peso de la evaluación de cada tipo de daño en las diferentes partes del puente. Además, el peso de la importancia de cada parte del puente debe ser evaluado y el grado de daño y la importancia de la parte del puente debe ser combinada para evaluar las deficiencias totales del puente.

El Proceso Analítico de Jerarquías (PAJ), es usado como un método de soporte de decisión para evaluación de las deficiencias del puente en estos lineamientos. El PAJ incorpora criterios tangibles e intangibles criterios de evaluación. El PAJ es un método, que desglosa el asunto complejo en componentes simples y acomoda esos componentes en una estructura de jerarquía simple. El método de pesaje de componentes, el cual es parte del PAJ, es utilizado para evaluar el grado de las deficiencias del puente.

3.2.2 Método de evaluación de las Deficiencias del Puente

1) Formato para Inspección de Puentes

Los tipos de daños de las partes de puentes y los elementos del puente que están compuestos de las partes del puente están listados en la hoja de inspección de puentes para estudio de campo en la Tabla 3.2.1. los daños en puentes que fueron inspeccionados a través del estudio de campo basado en las hojas de inspección y en los grados de daños para cada elemento del puente deben ser almacenados por los inspectores e ingenieros de puentes. La evaluación de la deficiencia del puente ha sido llevada a cabo sobre la base de datos de esas hojas de inspección de puentes.

Las definiciones sustanciales de los grados de daños para los elementos de puentes se muestran a continuación;

Grado 1: No hay daño observado

Grado 2: Se observan daños en pocas partes.

Grado 3: Se observan daños en varias partes.

Grado 4: Se observan daños en menos de la mitad o totalidad de la parte.

Grado 5: Se observan daños en casi toda la parte

Los grados de daños de elementos de puentes se describen detalladamente en el Manual de Inspección de Puentes desarrollado por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes de Costa Rica en enero del 2007.

Tabla 3.2.1. Hoja de Inspección de Puentes

INSPECCION DE PUENTES (GRADO DE DAÑO)										No. DE ESTRUCTURA		1	
NOMBRE DEL PUENTE		01		Region CONAVI		* ADMINISTRADO POR		* DIA		* MES		* AÑO	
Colorado River		01		Region CONAVI		* ADMINISTRADO POR		* DIA		* MES		* AÑO	
No. DE LA RUTA		Primary		LOCALIDAD		* LAITUD NORTE		* FECHA DE DISEÑO		* 1		* 1968	
KILOMETRO		36 605		CANTON		* LONGITUD ESTE		* FECHA DE CONSTRUCCION		* 7		* 1974	
		km		DISTRITO		* LONGITUD ESTE		* FECHA DE CONSTRUCCION		* 7		* 1974	
COMENTARIOS													
TIPO DE DAÑO Y EVALUACIÓN DEL GRADO DEL DAÑO													
test													
1.	ITEM	1. ONDULACIÓN	2. ZURCOS	3. AGRIETAMIENTO	4. BACHES	5. SOBRECARGAS DE ASFALTO							
	EVALUACIÓN	1	1	3	2	1							
2.	ITEM	1. DEFORMACIÓN	2. OXIDACIÓN	3. CORROSIÓN	4. FALTANTE								
	EVALUACIÓN												
3.	ITEM	1. AGRIETAMIENTO	2. APOYO DE REFUEZO EXPUESTO	3. FALTANTE									
	EVALUACIÓN	1	1	1									
4.	ITEM	1. SONIDOS EXTERNOS	2. FILTRACION DE AGUAS	3. FALTANTE O DEFORMACIÓN	4. MOVIMIENTO VERTICAL	5. JUNTAS OBSTACULIZADAS	6. ACERO DE REFUEZO						
	EVALUACIÓN	1	5	1	1	5	1						
5.	ITEM	1. GRIETAS EN UNA DIRECCIÓN	2. GRIETAS EN DOS	3. DESCASCARAMIENTO	4. ACERO DE REFUEZO	5. NIDOS DE PIEDRA	6. EFLORESCENCIA	7. AGUJEROS					
	EVALUACIÓN	1	1	2	2	1	3	1					
6.	ITEM	1. OXIDACIÓN	2. CORROSIÓN	3. DEFORMACIÓN	4. FALTA DE PERNOS	5. GRIETAS EN SOLDADURA O PLACA							
	EVALUACIÓN												
7.	ITEM	1. OXIDACIÓN	2. CORROSIÓN	3. DEFORMACIÓN	4. ROTURA DE UNIONES	5. ROTURA DE ELEMENTOS							
	EVALUACIÓN												
8.	ITEM	1. DECOLORACIÓN	2. AMPOLLAS	3. DESCASCARAMIENTO									
	EVALUACIÓN												
9.	ITEM	1. GRIETAS EN UNA DIRECCIÓN	2. GRIETAS EN DOS	3. DESCASCARAMIENTO	4. ACERO DE REFUEZO	5. NIDOS DE PIEDRA	6. EFLORESCENCIA						
	EVALUACIÓN	1	1	1	1	1	1						
10.	ITEM	1. GRIETAS EN UNA DIRECCIÓN	2. GRIETAS EN DOS	3. DESCASCARAMIENTO	4. ACERO DE REFUEZO	5. NIDOS DE PIEDRA	6. EFLORESCENCIA						
	EVALUACIÓN	1	1	1	1	1	1						
11.	ITEM	1. ROTURA DE APOYOS	2. DEFORMACIÓN EXTERNA	3. INCLINACIÓN	4. DESPLAZAMIENTO								
	EVALUACIÓN	1	1	3									
12.	ITEM	1. GRIETAS EN UNA DIRECCIÓN	2. GRIETAS EN DOS	3. DESCASCARAMIENTO	4. ACERO DE REFUEZO	5. NIDOS DE PIEDRA	6. EFLORESCENCIA	7. PROTECCIÓN DE TERSAJEN					
	EVALUACIÓN	1	1	1	1	1	1	1					
13.	ITEM	1. GRIETAS EN UNA DIRECCIÓN	2. GRIETAS EN DOS	3. DESCASCARAMIENTO	4. ACERO DE REFUEZO	5. NIDOS DE PIEDRA	6. EFLORESCENCIA	7. PENDIENTES EN TALUDES					
	EVALUACIÓN	1	1	1	1	1	1	1					
14.	ITEM	8. INCLINACIÓN	9. SOCAVACIÓN										
	EVALUACIÓN	1	1										
15.	ITEM	1. GRIETAS EN UNA DIRECCIÓN	2. GRIETAS EN DOS	3. DESCASCARAMIENTO	4. ACERO DE REFUEZO	5. NIDOS DE PIEDRA	6. EFLORESCENCIA	7. INCLINACIÓN					
	EVALUACIÓN	1	1	1	1	1	1	1					
16.	ITEM	8. SOCAVACIÓN											
	EVALUACIÓN	1											
EVALUACIÓN										GRADO DEL DAÑO		SOCAVACION	
1										Ningún daño visible		Sin Socavación	
2										En pocos lugares		Tendencia a socavarse	
3										En muchos lugares		Socavación no peligrosa	
4										En menos de la mitad		Socavación peligrosa	
5										En la mayoría de las partes		Condición de Emergencia	
FECHA INSPECCION										NOMBRE DE INSPECTOR		FIRMA	
1 10 2005										Gabriela Jolge			

2) Pasos para la evaluación de la Deficiencia del Puente

La evaluación de la evaluación de la deficiencia del puente se lleva a cabo a través de los siguientes pasos;

Paso1 Listar las partes del puente, que componen la totalidad del puente, y determinar sets de puente, compuesto por la mayoría de miembros de puentes tales como **superestructura** y **subestructura**.

Paso2 Establecer la entrada de **jerarquías** en la evaluación de componentes de puentes.

Paso3 Determinar el peso de cada daño y cada parte del puentes en la **Jerarquía3**.

Determinar los pesos debería seguir lo siguiente;

1. Definir el tipo de daño de las partes del puente.
2. Construir un set de matriz de comparación para cada tipo de cambio.
3. Los daños en cada parte es comparada con la evaluación para llenar la matriz de comparación usando la escala de importancia relativa.
4. Se debe construir la matriz de comparación de pares.
5. Multiplicar todos los elementos de cada fila y de su raíz se extrae como componentes del eigenvector donde n es el número de elementos.
6. La columna de números obtenida es normalizada a la unidad como peso en el daño dividiendo cada componente por la suma de todos los componentes.

Paso4 El peso de cada parte, la cual esta definida como parte del puente en la **Jerarquía 2** es determinada por el procedimiento de la jerarquía 3.

Paso5 El peso de las partes de los miembros de puentes en la **Jerarquía 1** se determina también con el mismo procedimiento.

Paso6: El grado de daño es multiplicado por el peso del daño en la **Jerarquía 3**.

Paso7 Cada nivel bajo de peso es multiplicado por el peso inmediatamente superior para obtener el **rango entero de deficiencia del puente**.

3) Jerarquía de los Componentes del Punte

La Jerarquía Entera de los componentes para la evaluación del as deficiencias de puentes se muestran en la Figura 3.2.1

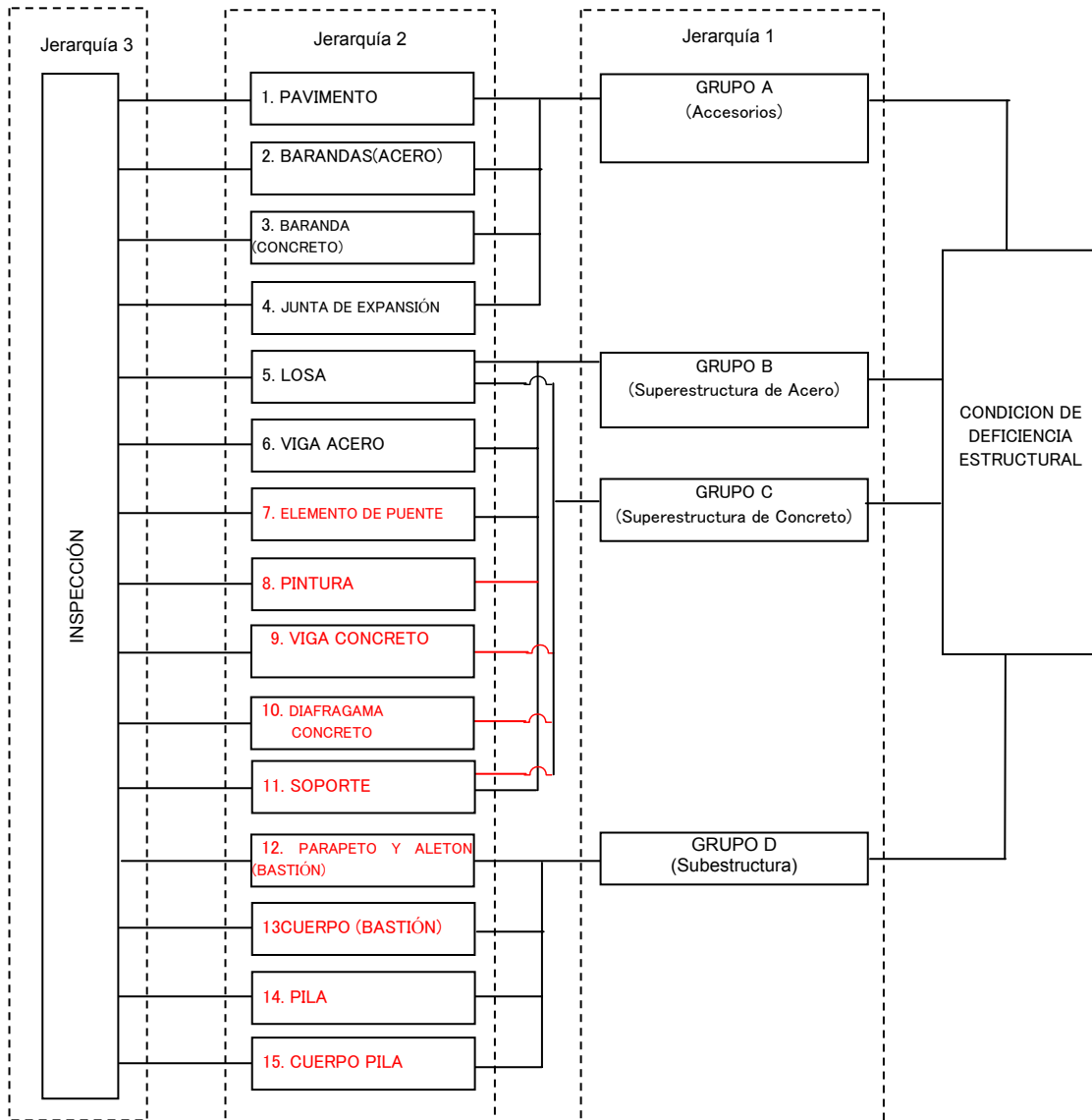


Figura 3.2.1 Jerarquías de Componentes de Puentes

4) Jerarquía de Componentes de Puente

(i) Componentes de Puente

Los componentes de puentes utilizados para la evaluación de la deficiencia deben ser consistentes con los contenidos de las hojas de inspección, porque los resultados de la inspección son los datos básicos de la evaluación.

(ii) Determinación del Peso del Daño en la Jerarquía 3

Tipo de Daño en partes de Puente

Los tipos de daños son diferentes y deben ser definidos para cada parte de puente. El tipo de daño está determinado en la hoja de inspección.

Escala de Importancia Relativa

El peso de cada tipo de daño debe ser determinado, comparado y evaluado utilizando la escala de importancia relativa que se muestra en la Tabla 3.2.2.

Tabla 3.2.2. Escala de Importancia Relativa

Intensidad de Importancia Relativa	Definición	Explicación
1	Igual Importancia	Dos actividades contribuyen igualmente a un objetivo
3	Moderada importancia de una sobre otra	El juicio y la experiencia ligeramente a favor de una actividad sobre otra
5	Fuerte y esencial importancia	El juicio y la experiencia ligeramente a favor de una actividad sobre otra
7	Importancia demostrada	Actividad fuertemente favorecida y dominio en la práctica
9	Importancia Extrema	Se evidencia favoritismo sobre una actividad sobre otra.
2, 4, 6, 8	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes	Cuando se necesita de compromiso
Recíproco sobre números no-cero	Si una actividad tiene uno de los números de arriba (ej.3) comparado con otra actividad, entonces la segunda actividad tiene un valor recíproco (ej. 1/3) cuando es comparado con el primero.	

Calculo de los Pesos para los Daños

La matriz de comparación debe ser construida en mejora de la preparación del cálculo. Todos los elementos de cada fila de la matriz debe multiplicarse y su nth raíz debe ser extraída como componente eigenvector donde n es el numero de elementos. La columna de números obtenidos es normalizada a la unidad como peso del daño dividiendo cada componente por la suma de todos los componentes. El método de cálculo para los daños mencionado arriba se ilustra en la Tabla 3.2.3. El cálculo del peso para pavimento y barandas se muestra en la Tabla 3.2.4. y Tabla 3.2.5 para ejemplos.

Tabla 3.2.3. Escala de Importancia Relativa

	Matriz				Componentes Vector Eigen	Vector de Prioridades
	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄		
A ₁	$\frac{W_1}{W_1}$	$\frac{W_1}{W_2}$	$\frac{W_1}{W_3}$	$\frac{W_1}{W_4}$	$\sqrt[4]{\frac{W_1}{W_1} * \frac{W_1}{W_2} * \frac{W_1}{W_3} * \frac{W_1}{W_4}} = a$	$\frac{a}{\text{Total}} = X_1$
A ₂	$\frac{W_2}{W_1}$	$\frac{W_2}{W_2}$	$\frac{W_2}{W_3}$	$\frac{W_2}{W_4}$	$\sqrt[4]{\frac{W_2}{W_1} * \frac{W_2}{W_2} * \frac{W_2}{W_3} * \frac{W_2}{W_4}} = b$	$\frac{b}{\text{Total}} = X_2$
A ₃	$\frac{W_3}{W_1}$	$\frac{W_3}{W_2}$	$\frac{W_3}{W_3}$	$\frac{W_3}{W_4}$	$\sqrt[4]{\frac{W_3}{W_1} * \frac{W_3}{W_2} * \frac{W_3}{W_3} * \frac{W_3}{W_4}} = c$	$\frac{c}{\text{Total}} = X_3$
A ₄	$\frac{W_4}{W_1}$	$\frac{W_4}{W_2}$	$\frac{W_4}{W_3}$	$\frac{W_4}{W_4}$	$\sqrt[4]{\frac{W_4}{W_1} * \frac{W_4}{W_2} * \frac{W_4}{W_3} * \frac{W_4}{W_4}} = d$	$\frac{d}{\text{Total}} = X_4$

Nota: "X₁, X₂, X₃, X₄" son el peso para "A₁, A₂, A₃, A₄" respectivamente.

$\frac{W_i}{W_j}$ Es la intensidad de importancia relativa basada en el par de comparación de W_i sobre W_j como se explica en la

Tabla 3.2.

Tabla 3.2.4. Peso del Daño en Pavimento

	1. Ondulación	2. Surcos	3. Grietas	4. Baches	5. Sobrecapas de asfalto	Vector Eigen	Peso
1. Ondulación	1	4	1	1/5	4	1.262	0.168
2. Surcos	1/4	1	1/5	1/7	1	0.372	0.049
3. Grietas	1	5	1	1/5	5	1.380	0.183
4. Baches	5	7	5	1	7	4.146	0.550
5. Sobrecapas de asfalto	1/4	1	1/5	1/7	1	0.372	0.049
	7.500	18.000	7.400	1.686	18.000	7.532	1.000

Tabla 3.2.5. Peso del Daño en Baranda

	1. Deformación	2. Oxidación	3. Corrosión	4. Pérdida	Vector Eigen	Peso
1. Deformación	1	1	1/3	1/9	0.439	0.064
2. Oxidación	1	1	1/3	1/9	0.439	0.064
3. Corrosión	3	3	1	1/7	1.065	0.156
4. Pérdida	9	9	7	1	4.880	0.715
	14.000	14.000	8.666	1.365	6.822	1.000

Peso de Partes de Puentes

El peso de la mayoría de partes del puente esta definido en la Jerarquía 2 y determinada por el mismo procedimiento en la Jerarquía 3. El peso de las partes en un grupo de accesorios de puentes se muestra en la Tabla 3.2.6. El peso de las partes en un grupo de superestructura de un puente de acero se muestra en la Tabla 3.2.7.

Tabla 3.2.6. Peso de las Partes de un Grupo de Accesorios

	1. Pavimento	2. Baranda	3. Junta de Expansión	de	Vector Eigen	Peso
1. Pavimento	1	1/9	5		0.481	0.109
2. Baranda	9	1	9		3.302	0.748
3. Junta de Expansión	1/5	1/9	1		0.630	0.143
	11.000	1.361	6.000		4.413	1.000

Tabla 3.2.7. Peso de las Partes en un Grupo de Superestructura de un Puente de Acero

	1. Losa	2. Arriostre de Acero	3. Viga de Acero	4. Soporte	5. Pintura	Vector Eigen	Peso
1. Losa	1	3	1/3	5	7	2.036	0.264
2. Arriostre de Acero	1/3	1	1/5	3	5	1.000	0.130
3. Viga de Acero	3	5	1	7	9	3.936	0.510
4. Soporte	1/5	1/3	1/7	1	3	0.491	0.064
5. Pintura	1/7	1/5	1/9	1/3	1	0.254	0.033
	4.676	9.533	1.787	16.333	25.000	7.718	1.000

Pesos en componentes de Puente

Los pesos de la mayoría de los componentes como los de la superestructura y subestructura deben ser calculados usando el mismo método de la Jerarquía 2 y 3. Los pesos de los componentes del puente están calculados como se muestra en la Tabla 3.2.8.

Tabla 3.2.8. Peso de Componentes de Puente

	1. Accesorios	2. Superestructura	3. Subestructura	Vector Eigen	Peso
1. Accesorios	1	1/7	1/9	0.251	0.055
2. Superestructura	7	1	1/3	1.326	0.290
3. Subestructura	9	3	1	3.000	0.655
	17.000	4.143	1.444	4.578	1.000

(iii) Evaluación del Rango Total de Deficiencia de Puentes

Paso 1

El Rango de Deficiencia en el Paso 1 se obtiene multiplicando los pesos de cada tipo de daño y el Grado de Daño de la inspección.

$$D_{3j} = \sum (W_i \times E_i)$$

donde;

D_{3j} : Cálculo de Resultados de los Pares de Puente en Jerarquía 2

W_i : Peso del Daño en Jerarquía 3

E_i : Grado de Daño correspondiente al tipo de Daño

Paso 2

El Rango de Deficiencia en el Paso 2 se obtiene por la multiplicación del peso de las partes del puente en la Jerarquía 2 y los resultados del Paso 1

$$D_{2k} = \sum W_2 \times D_{3j}$$

donde:

D_{2k} : Cálculo de Resultados para cada componente de Puente de Jerarquía 1

W_2 : Peso de partes en Jerarquía 2

D_{3j} : Cálculo de Resultados en Paso 1

J : Numero de partes de Puente en el grupo de componentes de puente

Paso 3

El rango total de Deficiencia del puente se obtiene por el siguiente cálculo.

$$D_{total} = \sum (W_1 \times D_{2k})$$

donde:

D_{total} : Deficiencia Total del Puente

W_1 : Peso del Componente del Puente en jerarquía 1

D_{2k} : Cálculo de Resultados en Paso 2

K : Número de Componentes de Puente

3.2.3 Resultado de los Cálculos

El peso de los Daños de los elementos de puentes, las partes de puente y los componentes principales de puente para puentes de acero están listados en la Tabla 3.2.9. El peso de las barandas debe ser seleccionado dependiendo del tipo de material.

Tabla 3.2.9. Peso de Evaluación de Ítems para Puentes de Acero

PARTE DE PUENTE	PARTE DE DAÑO	TIPO DE DAÑO Y EVALUACION DEL GRADO DE DAÑO					
ACCESORIOS	1. PAVIMENTO 0.151	1. ONDULACION 0.168	2. ZURCOS 0.049	3. GRIETAS 0.183	4. BACHES 0.550	5. SOBRECAPAS DE ASFALTO 0.049	
	2. BARANDA (ACERO) 0.797	1. DEFORMACIÓN 0.064	2. RUSTING 0.064	3. CORROSION 0.156	4. PÉRDIDA 0.715		
	3. BARANDA (CONCRETO) (0.797)	1. GRIETA (0.058)	2. ACERO EXPUESTO (0.207)	3. PÉRDIDA (0.735)			
	4. JUNTA DE EXPANSIÓN 0.055	1. SONIDOS EXTRAÑOS 0.033	2. FILTRACIONES 0.069	3. PÉRDIDA O DEFORMACIÓN 0.509	4. MOVIMIENTO VERTICAL 0.182	5. JUNTAS OBSTRUIDAS 0.031	6. ACERO EXPUESTO 0.177
ACERO SUPER-ESTRUCTURA	5. LOSA 0.264	1. GRIETAS EN UNA DIRECCIÓN 0.048	2. GRIETAS EN RED 0.106	3. DESPRENDI, CONCRETO 0.070	4. ACERO EXPUESTO 0.242	5. NIDOS DE PIEDRA 0.021	6. EFLORESCENCIA 0.161
		7. HUECOS 0.351					
	6. VIGA DE ACERO 0.510	1. OXIDACIÓN 0.029	2. CORROSIÓN 0.085	3. DEFORMACIÓN 0.279	4. PÉRDIDA DE PERNOS 0.179	5. GRIETA EN SOLDADURA O PLACA 0.428	
	7. ELEMENTO DE PUENTE 0.130	1. OXIDACIÓN 0.32	2. CORROSION 0.121	3. DEFORMACIÓN 0.061	4. RUPTURA EN CONEXION 0.320	5. RUPTURA DE ELEMNTO 0.446	
	8. PINTURA 0.033	1. DECOLORACIÓN 0.105	2. RISING 0.258	3. DESCASCARAMIENTO 0.637			
	11. SOPORTE 0.064	1. RUPTURA DEL SOPORTE 0.058	2. DEFORMACIÓN ANORMAL 0.249	3. INCLINACION 0.096	4. MOVIMIENTO 0.096		
SUB-ESTRUCTURA	12. PARAPETO Y ALETÓN (BASTIÓN) 0.036	1. GRIETAS EN UNA DIRECCIÓN 0.047	2. GRIETAS EN RED 0.105	3. DESPRENDI, CONCRETO 0.069	4. ACERO EXPUESTO 0.242	5. NIDOS DE PIEDRA 0.025	6. EFLORESCENCIA 0.161
		7. PROTECCION DEL TALÚD 0.352					
	13. CUERPO (BASTIÓN) 0.400	1. GRIETAS EN UNA DIRECCIÓN 0.030	2. GRIETAS EN RED 0.047	3. DESPRENDI, CONCRETO 0.030	4. ACERO EXPUESTO 0.155	5. NIDOS DE PIEDRA 0.030	6. EFLORESCENCIA 0.106
		7. PENDIENTE DEL TALÚD 0.071	8. INCLINACION 0.309	9. SOCAVACIÓN 0.222			
	14. PILA 0.165	1. GRIETAS EN UNA DIRECCIÓN 0.147	2. GRIETAS EN RED 0.147	3. DESPRENDI, CONCRETO 0.064	4. ACERO EXPUESTO 0.369	5. NIDOS DE PIEDRA 0.033	6. EFLORESCENCIA 0.240
0.655	14. CUERPO (PILA) 0.400	1. GRIETAS EN UNA DIRECCIÓN 0.033	2. GRIETAS EN RED 0.072	3. DESPRENDI, CONCRETO 0.033	4. ACERO EXPUESTO 0.160	5. NIDOS DE PIEDRA 0.033	6. EFFLORESCENCE 0.108
		7. INCLINACION 0.329	8. SOCAVACIÓN 0.233				

3.3 Priorización de Reparación

3.3.1 Peso para Evaluación

Hay muchos puentes los cuales es necesario reparar bajo el presupuesto limitado del gobierno, sin embargo, la Priorización de la sección de puentes a ser reparados es una de las funciones más importantes del SAP. Los puentes deben ser priorizados no solo por la deficiencia pero también tomando en consideración de otros aspectos importantes como la falta en la función del puente, la importancia de la ruta en donde esta construido el puente, etc. Los ítems de evaluaron de puentes y los pesos de cada evaluación están listados en la Tabla 3.3.1.

Tabla 3.3.1. Punto de Evaluación Máximo para Priorización de Reparación de Puentes

Ítem de Evaluación		Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
Deficiencia Estructural	Losa	20		
	Superestructura	50	70	
	Subestructura	50		
	Varios	10		
Obsolescencia Funcional	Capacidad de Carga	70		
	Geometría de la Losa	15	70	
	Claro superior	15		
	Claro Inferior	15		100
Características Prioritarias	Volumen de Tráfico	20		
	Clase de Vías	10	20	
	Longitud de Desvíos	20		
	Línea de Vida	5		
características Estructurales	Madera	10	10	
	Alcantarilla Corrugada	10		

Los puntos de evaluación de cada nivel de evaluación son analizado usando el Proceso de análisis de Jerarquías (PAJ). Los pesos de cada ítem están determinados usando la matriz de comparación como se muestra en la Tabla 3.3.5.

Tabla 3.3.2. Prioridad Establecida para Nivel 2

	Deficiencia Estructural	Obsolescencia Funcional	Característica Prioritaria	Característica Estructural	Vector	Peso	Ajuste	
Deficiencia Estructural	1.000	1.000	5.000	7.000	2.432	0.424	100	70
Obsolescencia Funcional	1.000	1.000	5.000	7.000	2.432	0.424	100	70
características Prioritarias	0.200	0.200	1.000	3.000	0.589	0.103	24	20
Característica Estructural	0.143	0.143	0.333	1.000	0.287	0.050	12	10
					5.740	1.000		

Tabla 3.3.3. Prioridad Establecida para Nivel 1 (Deficiencia Estructural)

	Losa	Superestructura	Subestructura	Varios	Vector	Peso	Ajuste	
Losa	1	1/3	1/3	5	0.863	0.156	39	20
Superestructura	3	1	1	8	2.213	0.400	100	50
Subestructura	3	1	1	8	2.213	0.400	100	50
Varios	1/5	1/8	1/8	1	0.236	0.043	11	10
					5.527	1.000		

Tabla 3.3.4. Prioridad Establecida para Nivel 1 (Obsolescencia Funcional)

	Cargas Operativas	Geometría de la Losa	Claro Superior	Claro Inferior	Vector	Peso	Ajuste	
Cargas Operativas	1	5	5	5	3.344	0.625	100	70
Geometría de la Losa	1/5	1	1	1	0.669	0.125	20	15
Claro Superior	1/5	1	1	1	0.669	0.125	20	15
Claro Inferior	1/5	1	1	1	0.669	0.125	20	15
					5.250	1.000		

Tabla 3.3.5. Prioridad Establecida para Nivel 2 (Características)

	Volumen de Tráfico	Clase de Vía	Longitud de Desvío	Línea de Vida	Vector	Peso	Ajuste	
Volumen de Tráfico	1	3	1	5	1.968	0.391	100	20
Clase de Vía	1/3	1	1/3	3	0.760	0.151	39	10
Longitud de Desvío	1	3	1	5	1.968	0.391	100	20
Línea de Vida	1/5	1/3	1/5	1	0.340	0.067	17	5
					5.036	1.000		

Nota: Los ítems de evaluación y sus pesos son temporalmente establecidos por el equipo de estudio JICA, sin embargo, ellos deben ser reexaminados de vez en cuando por los cambios de las circunstancias sociales.

3.3.2 Evaluación de la Deficiencia Estructural

El rango total de deficiencia del puente es evaluado utilizando rangos de deficiencia de todas las partes del puente. Los rangos son utilizados para notificar al administrador cual puente es de cuidado de determinar el siguiente paso de investigación como es el caso de la inspección profunda. Sin embargo, los requerimientos de reparación de puentes no están determinados solamente por el rango total de deficiencia. Por ejemplo, en el caso de que haya varios daños los cuales evaluados como daño de grado 5 en el diafragma y en otras partes en buenas condiciones, el rango de deficiencia total es bajo pero los requerimientos de reparación del diafragma es alto. Por lo tanto, los daños importantes en cada parte del puente son utilizados como indicadores de la necesidad de reparación. Los Ítems de evaluación de deficiencia estructural en las partes del puente están mostrados en la Tabla 3.3.6. El grado final del daño es determinado por el grado mayor de cada parte del puente.

Tabla 3.3.6. Selección de los Grados de Daño para Reparación de Componentes principales de Puentes

Indicador de Daño Importante		Grado de Daño	Grado de Daño para Evaluación	
Losa	Acero Expuesto	4	4	
	Huecos	2		
Superestructura	Sistema de Cubierta (Acero)	Ruptura del Soporte	2	
	Viga de Acero	Grieta en Soldadura o Placa	1	5
		Deformación	1	
	Diafragma	Acero Expuesto	5	
	Viga de Concreto	Acero Expuesto	1	
Subestructura	Parapeto y Aletón	Acero Expuesto	1	
	Muro (Bastión)	Inclinación	2	
	Fundaciones	Socavación	3	3
	Viga (Pila)	Acero Expuesto	2	
	Columna (Pila)	Inclinación	1	
	Fundación (Pila)	Socavación	3	
Varios	Pavimento	Huecos	4	4
	Baranda	Pérdida	1	

Los grados de daño están calculados por una ecuación lineal como la siguiente y los resultados se muestran en la Tabla 3.3.7.

$$EPD = EPM \times (DD - 1) / (5 - 1)$$

donde

EPD: Punto de evaluación del Daño Estructural

EPM: Punto de Evaluación Máximo

DD: Rango del Grado del Daño en los datos de inspección de puentes

Tabla 3.3.7. Puntos de evaluación para Daño Estructural

Ítem de Evaluación	Grado de Daño				
	1	2	3	4	5
Losa	0	5	10	15	20
Superestructura	0	12	25	38	50
Subestructura	0	12	25	38	50
Varios	0	2	5	8	10

3.3.3 Evaluación de la Obsolescencia Funcional

1) Insuficiente Capacidad de Carga

La carga viva que pasa por el puente debe estar de acuerdo a la carga viva adoptada en el diseño del puente. Sin embargo, la carga viva se incrementa en el tiempo y la capacidad de carga del puente debe ser actualizada. Las cargas vivas de diseño requeridas para cada categoría de vía en el 2007 se muestran en la Tabla 3.3.8. las cargas vivas para un diseño de puente se muestran en la Tabla 3.3.9. Los Rangos de Influencia de Capacidad de Carga son calculados por la diferencia entre la carga viva de servicio actual y la carga viva de diseño del puente.

Tabla 3.3.8. Carga Viva Requerida

Grado de Vía		Carga Viva	Carga (ton)
Vías Nacionales	Primaria (No.1 a No.100)	HS20+25%	40.819
	Secundaria (No.101 a No.300)	HS20+25%	40.819
	Terciaria (No.301 en adelante)	HS15-44	24.491
Vías Regionales		HS15-44	24.491

Tabla 3.3.9. Carga Vivas para Diseño de Puentes

Carga Viva	Carga (ton)
HS20+25%	40.819
HS20-44	32.656
HS15-44	24.491
H20-44	18.142
H15-44	13.606
H10-44	9.071

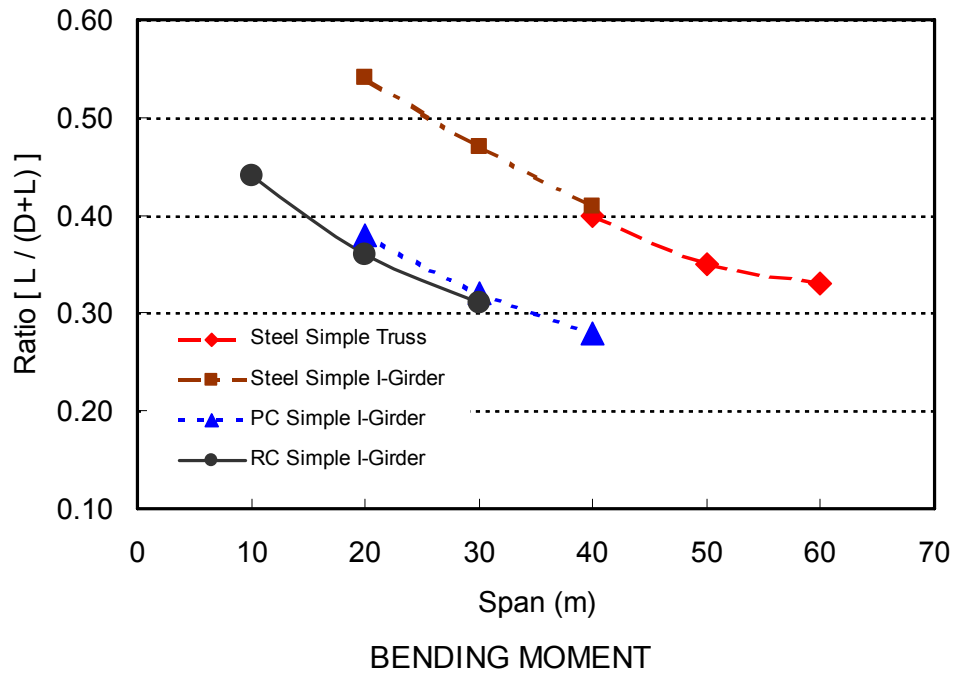


Figura 3.3.1. Razón L

$$EPL = EPM \times (1 - AL / BL) \times Load_{Max} / (Load_{Max} - Load_{Min}) \times L_{ratio} / L_{ratiomax}$$

Donde;

EPL: Punto de evaluación para Obsolescencia Funcional del Puente

EPM: Máximo Punto para Punto de Evaluación

AL: Carga Viva de Diseño

BL: Carga Viva de Servicio Actual

L_{ratio}: Momento Flexionante por "L" / Momento Flexionante por ("L" + "D") \square 0.6

L_{ratiomax}: 0.6

L: Carga Viva

D: Carga Muerta

Load_{Max}: Carga de Diseño Máxima (HS20+25%)

Load_{Min}: Carga de Diseño Mínimo (H10-44)

2) Insuficiencia en Geometría de la Losa

La insuficiencia en la vía en un puente se calcula por la comparación entre el ancho de la vía en el puente y el ancho de la vía en la proximidad.

$$EPW = EPM \times (1 - BW / AW) \times 2$$

donde;

EPW: Punto de Evaluación para Insuficiencia en Vía

EPM: Punto Máximo para Punto de Evaluación

AW: Ancho de Vía en proximidad

BW: Ancho de vía en puente

$0.5 \leq BW/AW \leq 1.0$

3) Insuficiente Claro Vertical

La limitación del Claro Vertical sobre la superficie de la vía es de 5.5m para vías nacionales de 1er grado y 5.0m para vías nacionales de 2do grado basado en las regulaciones de Costa Rica. Por lo tanto, el punto máximo de evaluación será dado por el puente donde el claro vertical sea menor que las limitaciones de claro vertical. El mismo método de evaluación será asignado para los claros inferiores.

3.3.4 Punto de evaluación para Esencialidad de Vía

1) evaluación por el Transito Promedio Diario (TPD)

Basados en los censos de trafico del 2005, las vías con transito promedio diario (TPD) mayor a 20,000 / día esta limitado dentro del área metropolitana de San José y el TPD en zonas fuera del área metropolitana es de 5,000 a 15,000. El máximo TPD almacenado es de 50,000 / día en la Ruta Nacional No.1 en las regiones metropolitanas. Considerando las condiciones de las vías en Costa Rica, los puntos de evaluación por el TDP son determinados como lo muestra la Tabla 3.3.10.

Tabla 3.3.10. Puntos de evaluación por el Trafico Promedio Diario (TPD)

No.	TPD	Puntos de Evaluación
1	0 ~ 5,000	0
2	5,000 ~ 10,000	5
3	10,000 ~ 20,000	10
4	20,000 ~ 50,000	15
5	50,000 ~	20

2) Evaluación por el Grado de la Vía

Los grados de la vía están clasificados en 4 categorías en Costa Rica y los puntos de evaluación para cada categoría están determinados como lo muestra la Tabla 3.3.11.

Tabla 3.3.11. Puntos de Evaluación basados en los Grados de la Vía

No.	Grado de la Vía	Puntos de Evaluación
1	Vías Cantonales	0
2	vías Nacionales (terciarias)	3
3	vías Nacionales (secundarias)	6
4	vías Nacionales (primarias)	10

3) Evaluación de la Longitud de Desvio (LD)

Los puntos de Evaluación por la longitud de desvio son determinados por la longitud de desvio y su relación como lo muestra la Tabla 3.3.12.

Tabla 3.3.12. Puntos de Evaluación por Longitud de Desvio

No.	Longitud de Desvio (km)	Punto de Evaluación
1	Dentro de 5 km	0
2	5km < LD < 15 km	5
3	15 km < LD < 30 km	10
4	30 km < LD	15
5	Sin desvio	20

4) Evaluación por Líneas de Vida

En caso de que las líneas de vida para uso público tales como telecomunicaciones, cables eléctricos, tuberías suplidoras de agua colocadas en el puente, el punto de evaluación por las líneas de vida es de 5.

3.3.5 Evaluación por el Tipo Estructural

En el caso de que la estructura principal este construida con Madera o tuberías de alcantarilla corrugada, el punto de evaluación será 10.

3.4 Estimación de costos para Reparación de Puentes

3.4.1 Generalidades

La estimación de costos para la reparación de puentes se debe llevar a cabo basado en la información del inventario del puente y el historial de inspección. El proceso de estimación de costos es el siguiente;

1. Seleccionar un método de reparación típico basado en la información de los historiales de inspección. El costo unitario del método de reparación típico debe ser preparado de antemano.
2. Evaluar la magnitud de la reparación del puente. La magnitud debe ser evaluada utilizando área, volumen y longitud de las partes del puente que fueron almacenadas en la base de datos en los datos de inventario de puentes.
3. El costo de reparación se obtiene de la multiplicación de los valores derivados de 1 y 2.

3.4.2 Precio Unitario para cada Método de Reparación

El precio unitario para cada método típico de reparación como se muestra en la Tabla 3.4.1. debe ser preparado.

Tabla 3.4.1. Costo Unitario para métodos Típicos de Reparación (1/2)

Parte	método de reparación/Refuerzo	Código	Unidad	Costo/Unidad
Losa	Inyección y llenado		m ²	
	Repello o Restaurar Dimensión		Nos	
	Capa de superficie de Concreto		m ²	
	Refuerzo con laminas de FRP		m ²	
	Incrementar Espesor de Losa		m ³	
	Larguero Adicional		m	
	Refuerzo por Placas de Acero		m ²	
	Reemplazo de la Losa		m ²	
Viga Principal (Concreto)	Inyección y llenado		m ²	
	Repello o Restaurar Dimensión		Nos	
	Capa de superficie de Concreto		m ²	
	Refuerzo con laminas de FRP		m ²	
	Refuerzo por Placas de Acero		m ²	
	Refuerzo por Cable Externo		m	
	Incremento del Peralte de la Viga		m ²	
Viga Principal (Acero)	Refuerzo por Placas de Acero		m ²	
	Refuerzo por Cable Externo		m	
	Instalar Viga Adicional		m	
	Reemplazar e Instalar Diafragma		m	
	Pintura		m ²	

Tabla 3.4.1. Costo Unitario para métodos Típicos de Reparación (2/2)


Parte	método de reparación/Refuerzo	Código	Unidad	Costo/Unidad
Bastión	Inyección y llenado		m ²	
	Repello o Restaurar Dimensión		Nos	
	Capa de superficie de Concreto		m ²	
	Protección con Mampostería		m ³	
Pila	Inyección y llenado		m ²	
	Repello o Restaurar Dimensión		Nos	
	Capa de superficie de Concreto		m ²	
	Rodear con placa de acero		m ²	
	Rodear con laminas de Fibra Plástica		m ²	
Fundación	Reforzar con presferuzo		m	
	Incrementar pilas		m	
	Proteger con Rocas		m ³	
	Proteger con Gaviones		m ³	
Expansión	Proteger con Bloques de Concreto		m ²	
	Reemplazar Expansión		m	
Soporte	Reemplazar Soporte		Nos	
Baranda (Concreto)	Inyección y llenado		m ²	
	Repello o Restaurar Dimensión		Nos	
	Capa de superficie de Concreto		m ²	
Baranda (Acero)	Reemplazar e Instalar Baranda		m	
	Pintura		m ²	
Proximidad	Protección del Talud		m ²	

3.4.3 Método para Cálculo de Costo de Reparación

Se debe calcular un costo unitario de reparación de puentes por medio de costos unitarios básicos como costos laborales, costo de materiales, costo de equipos y gastos generales como se muestra en la Tabla 3.4.2. El costo unitario básico se debe calcular basado en el análisis en el trabajo. El costo unitario debe ser cambiado de acuerdo a las fluctuaciones en cada costo unitario básico.

Tabla 3.4.2. Costos Unitarios básicos para Métodos de Reparación

Ítem de Costo	Costo Unitario / m ²
Trabajador	
Material	
Equipo	
Gastos Generales	
Total (Costo Unitario)	



** Metodo
= *** colon / m²

3.4.4 Evaluación de la Magnitud de Reparación

No es posible determinar la magnitud de la reparación incluyendo volumen, longitud de los elementos a través de datos de inspección periódica. Por lo tanto, para la magnitud de reparación se supondrá que esa magnitud es derivada de la multiplicación del rango de dimensión del área objetivo o la longitud de las partes a reparar. El costo de reparación es calculado por la multiplicación de la magnitud de reparación y el costo unitario para cada método de reparación.

Tabla 3.4.3. Cálculo de la Magnitud de reparación

método de Reparación	Descripción	Magnitud básica
Re-Pavimento	área de superficie de puente	Ancho de vía x Longitud del Puente
Baranda (Acero)	Longitud del Puente	Longitud del Puente x 2

Tabla 3.4.4. Rango de Magnitud de reparación

Parte del Puente	Tipo de Daños	Grado de Daño	Rango
Pavimento	Huecos	4	0.5
Baranda (Acero)	Pérdida	5	1.0





$$\text{Magnitud de reparación} = \text{Magnitud básica} \times \text{Rango}$$

4.1 Clasificación de la Deficiencia/Deterioro

La Tabla 4.1.1 muestra la clasificación de los principales ejemplos de deficiencia/deterioro de miembros de concreto/acero y el daño merecido a desastres naturales con fotografías y descripción del fenómeno. Se describen daños por grietas, segregación de limos, descascaramiento y huecos, como deficiencias/deterioros en miembros de concreto; corrosión y fatiga, como deficiencias/deterioro en miembros de acero y daños ocasionados por terremotos y socavación, como deficiencias/deterioros por desastres naturales.

Tabla 4.1.1. Clasificación del Deterioro



1. Miembros de Concreto

Clasificación	Fotografía	Descripción del Fenómeno
Grieta		<ul style="list-style-type: none"> - Es la deterioración mas popular en los miembros de concreto - Las grietas ocurren primero en una dirección y proceden a grietas en dos direcciones, patrones aleatorios, desprendimientos y hoyos
Segregación de limos <i>Eflorescencia y Filtraciones de agua</i>		<ul style="list-style-type: none"> - Es el resultado de la reacción entre los limos del concreto y el agua filtrada en las grietas
Desprendimientos Acero Expuesto		<ul style="list-style-type: none"> - Las caídas se convierten en peligro para terceras personas - El fenómeno ocurre por razones de reducción de la sección transversal, poco recubrimiento, daños por carga viva y corrosión en el refuerzo
Hoyo(s)		<ul style="list-style-type: none"> - El fenómeno principal ocurre en la losa debido a sobre cargas, cargas repetitivas o impacto anormal de la carga viva - Algunas veces, causa defectos como reducción del espesor en la losa

2. Miembros de Acero

Clasificación	Fotografía	Descripción del Fenómeno
Corrosión		<ul style="list-style-type: none"> - La corrosión barrida es un fenómeno en el que toda la superficie del miembro de acero se corroe uniformemente - Por otro lado, la corrosión local es un fenómeno en el que parte del miembro de acero está corroído bajo condiciones como drenajes de agua, filtraciones de agua por la junta de expansión, o por grietas a través de la losa y el agua no corre fuera complicando la configuración del miembro - corrosión local presenta hoyos o ranuras
Daño por Fatiga		<ul style="list-style-type: none"> - Falla por fatiga es llamado "proceso subcrítico de la grieta y esta es una de las principales características de los materiales dúctiles como el acero que demuestran la suficiente tenacidad cuando la grieta ocurre. - De acuerdo con las escalas de grietas esta no conducirá al colapso de la estructura, es más, tomando las medidas apropiadas en etapas iniciales de agrietamiento habilitan a el miembro a la estructura para asegurar su seguridad ha ser prevenido de una condición inestable. - El factor de más influencia de la fatiga es la frecuencia o esfuerzo repetitivo, en el caso de materiales de acero, como se incrementa la resistencia se incrementa el esfuerzo de fatiga pero el esfuerzo de la soldadura no se incrementa.

3. Daño por Desastres Naturales

Clasificación	Fotografía	Descripción del Fenómeno
Daño ocasionado por terremoto		<ul style="list-style-type: none"> - El daño más posible y peligroso ocasionado por desastre natural es causado por el terremoto. - La superestructura puede caer por la ruptura del soporte y la falta de longitud de asiento. Las partes de la subestructura y fundaciones pueden sufrir daños por terremotos
Socavación		<ul style="list-style-type: none"> - La socavación es una erosión del resultado del lavado del flujo de agua en el cauce, bancos así como al lado de pilas y bastiones del puente. Hay que notar que el proceso de socavación está compuesto de otros tres descritos abajo. Cuando estos tres procesos se mezclan se da la socavación en la pila o el bastión <ol style="list-style-type: none"> a) Cambios de adición o degradación en el cauce b) socavación de todo el puente c) socavación local en pilas y bastiones

4.2 Causas y mecanismos de Deficiencia/Deterioro

La Tabla 4.2.1. clasifica casos de deficiencia/deterioro y describe sus mecanismos, y muestra la relación entre ellos y los fenómenos de deficiencia/deterioro en miembros de concreto/acero. En la Tabla la deficiencia debido al desastre es exceptuada.

Los contenidos de la Tabla 4.1.1. y 4.2.1 proveen información básica de la causa, sistema, clasificación y fenómeno de deficiencia/deterioro, y esos conocimientos ayudan al ingeniero de puentes para comprender precisamente la situación de deficiencia/deterioro presente para predecir el proceso de progreso

Tabla 4.2.1. Causas, Mecanismos y Fenómenos de Deterioro

Excepto desastres y falta de mantenimiento

Causa de Deterioro	Mecanismo de Deterioro	Fenómeno de Deterioro		
		Miembros de Concreto (incl. Refuerzo)	Miembros de Acero	
Carbonatación	<ul style="list-style-type: none"> - En la reacción química que el CaCO_3 es generado por Ca(OH) y gases de ácido carbónico en la atmósfera, el Ca(OH)_2 en el concreto es consumido como pH: potencial de hidrogeno se disminuye hasta neutralizarse. - La neutralización no afecta el material del concreto pero si las capas de recubrimiento del acero de refuerzo, tienden a destruirse y el acero comienza a corroerse. 	<pre> graph TD A[Grieta] --> B[Segregación de limos] B --> C[Desprendimientos Acero Expuesto] C --> D[Hoyos] </pre>	-	
Corrosión por sal	<ul style="list-style-type: none"> - Ion de cloruro afecta al acero hasta corroer, por lo que afecta la expansión de las barras y el desarrollo de las grietas, separación del concreto y reducción del área de sección transversal - El Ion cloruro es proveído por el mismo concreto de sus restos de producción, y por el ambiente extra como el viento del océano. 		corrosión	
Reacción de Agregados alcalinos	<ul style="list-style-type: none"> - Se desarrolla un Gel Alcalino-Silicato con Na_2O o K_2O en el concreto y su reacción de agregados y es fácil de expandir con el agua absorbida por lo que afecta a las grietas 		Desprendimientos Acero Expuesto	-
Fallas Constructivas	<ul style="list-style-type: none"> - Los defectos son causados por errores en diseño o por la calidad de los materiales como falta de sección transversal, recubrimiento y resistencia, y configuraciones de miembros complejas 		Hoyos	corrosión
Incremento en Carga Viva	<ul style="list-style-type: none"> - El incremento del 25% de la HS20-44 es aplicado en el diseño de carga viva en los puentes de la red vial nacional - Las cargas repetitivas y los impactos severos por el incremento de la carga viva afecta especialmente la losa, el sistema de piso de acero y la estructura de acero 			Daño por Fatiga

5.1 Clasificación de la Inspección detallada

La necesidad de la inspección detallada es criterio de los ingenieros de puentes con base en la evaluación del resultado del SAP (Capítulo 3). El propósito de la inspección detallada es el comprender la información para el estado presente de deterioro, el mecanismo/causa de deterioro, la predicción del progreso del deterioro, la evaluación del rendimiento actual del puente y el estudio de medidas correctivas para el puente.

La Tabla 5.1.1 muestra la clasificación del método de inspección que incluye la prueba del sitio, el propósito de la prueba y la descripción del método de inspección.

Tabla 5.1.1. Clasificación de la Inspección detallada

Clasificación de la Inspección		Elemento de la estructura	Propósito de la Prueba	Descripción de la inspección	
Método de inspección visual	Superestructura	Miembro de concreto (incluye acero de refuerzo)		Hoja de descripción - 1	
	Subestructura			Hoja de descripción - 2	
	Accesorios	Miembro de acero		Hoja de descripción - 3	
	Fundación	Socavación		Hoja de descripción - 4	
Método Físico	Prueba del núcleo del concreto	Miembro de concreto	Resistencia del concreto	Hoja de descripción - 5	
	Prueba del martillo schmidt		Carbonatación	Hoja de descripción - 6	
Método Químico	Prueba de Fenoftaleina		Salinidad	Hoja de descripción - 7	
	Prueba de medida del cloruro		Corrosión del acero de refuerzo	Hoja de descripción - 8	
Método Eléctrico	Prueba del auto potencial		Posición del acero de refuerzo	Hoja de descripción - 9	
	Prueba Detección de Refuerzo				
Método Ultrasonido	Prueba Medición del espesor		Miembro de acero		Hoja de descripción - 10

Los puntos principales de la inspección visual para los elementos de la estructura del concreto son las grietas, segregación de limos (eflorescencia), filtración de agua, descascaramiento, nidos de piedra, acero de refuerzo expuesto, hoyos y otros. Los puntos principales de la inspección visual para los elementos estructurales de acero son los descascaramientos de pintura, oxidación, corrosión, grietas, deformaciones y otros

En la inspección detallada, los resultados de la observación de la apariencia externa, vibraciones anormales, sonidos extraños y otras situaciones anormales que puedan ser registrados.

5.2 Método de Inspección

En las siguientes páginas se puede observar las 9 hojas de descripción que se muestran en la Tabla 5.1.1, cada hoja interpreta el resumen del método de inspección detallada que incluye el procedimiento del reporte.

Método de Inspección Miembro de Concreto incluyendo refuerzo

METODO DE INSPECCIÓN

Equipo de Inspección



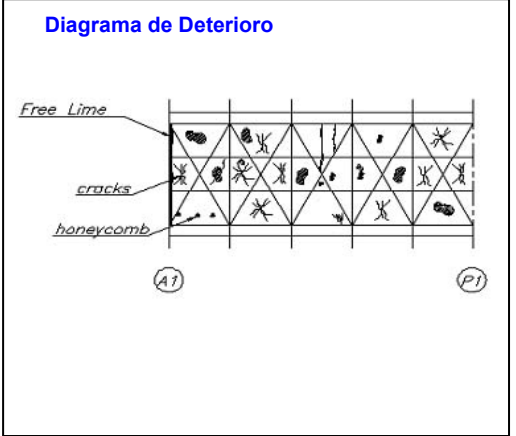
Ítems de Inspección; Tipos de Deterioro

Cada deterioración como las grietas, nidos de piedra, desprendimientos, separación, y eflorescencia, causados por reacciones alcalino-silicato deben ser medidas por longitud, área y profundidad utilizando el equipo de arriba



Como reportar

- Los resultados de inspección deben indicar "Diagrama de Deterioración" con esquema y fotos, con el fin de identificar fácil cuales partes de la estructura aparece la deterioración y su tamaño.
- Cada deterioración debe usarse con su propia leyenda arriba de la figura
- La fecha de inspección y el método también son requeridos

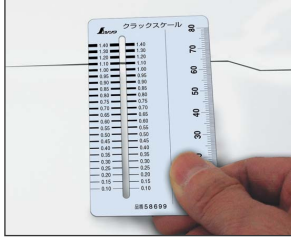


Método de Inspección Visual *Miembro de Acero*

METODO DE INSPECCIÓN

Equipo de Inspección

Medidor de Grietas



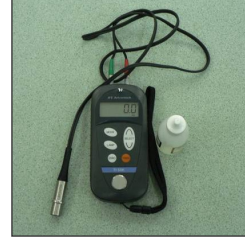
Cinta



Calibrador



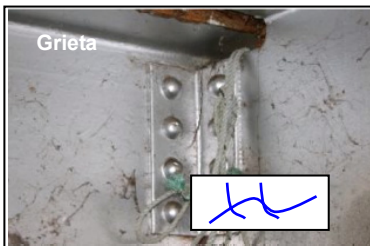
Sensor de espesor



and Camera, Binocular

Ítems de Inspección; Tipos de Deterioro

Cada deterioro como las grietas, nidos de piedra, desprendimientos, separación y eflorescencia causados por reacciones alcalino-silicato debe ser medido en longitud, área y profundidad usando los equipos de arriba.



Grieta



Corrosión



Oxidación



Perdida de Pernos



Transformación de miembros



Descascaramiento de pintura

Como reportar

- Los resultados de inspección deben indicar "Diagrama de Deterioración" con esquema y fotos, con el fin de identificar fácil cuales partes de la estructura aparece la deterioración y su tamaño.
- Cada deterioración debe usarse con su propia leyenda arriba de la figura
- La fecha de inspección y el método también son requeridos

Diagrama de Deterioro

Método de Inspección Visual Fundación, Socavación

METODO DE INSPECCION

Equipo de Inspección

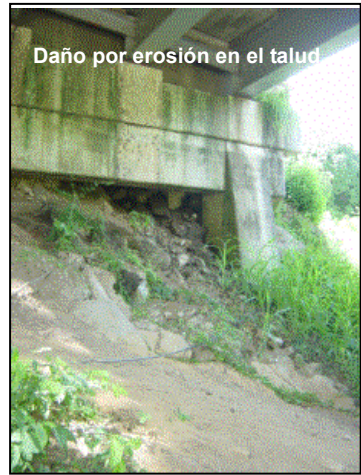
Cinta



y Cámara, Binoculares
Cámara de Rayos Infrarrojos

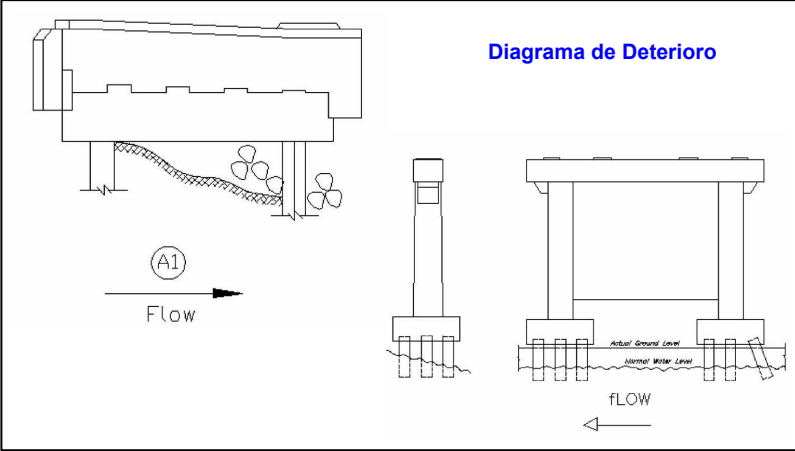
Ítems de Inspección; Tipos de Deterioro

Daños causados por erosión y/o socavación deben ser medidos en área, longitud y profundidad con el equipo de arriba



Como Reportar

- Los resultados de inspección deben indicar "Diagrama de Deterioración" con esquema y fotos, con el fin de identificar fácil cuales partes de la estructura aparece la deterioración y su tamaño.
- Cada deterioración debe usarse con su propia leyenda arriba de la figura
- La fecha de inspección y el método también son requeridos



METODO DE INSPECCION

Equipo de Inspección

Brocas para Extraer Núcleos



Maquina de Compactación del Concreto



Pasos de Inspección

1. Muestreo de núcleos

- El taladro de núcleos de concreto se utilice para adquirir las muestras.
- El diámetro de la muestra debe ser más de tres (3) veces el diámetro máximo del agregado grueso.
- La altura de la muestra debe ser el doble (2) del diámetro de la muestra.



2. Preparación de la Prueba

- Ambos lados de la muestra son tratados con recubrimiento
- El diámetro debe ser medido a ambos lados y al centro de la muestra en dos direcciones con precisión de 0.1mm, luego deben promediarse.
- La altura debe ser medida a ambos lados de la muestra.
- Antes de la prueba, la muestra debe ser curada con agua durante un tiempo de 40 a 48 horas



3. Prueba de Compactación.

- El procedimiento detallado esta en el manual de la maquina.

Nota: Este método permite encontrar la resistencia del concreto directamente, pero hay que tomar en cuenta que las muestras serán una parte desprendida de la estructura. Por lo tanto, descargada la muestra debe de evitarse un lugar con barras de acero

Nota: Cuando la muestra esta afectada por daños químicos, es importante dividir la parte buena de la afectada.

Como Reportar

Los resultados de inspección deben incluir:

- Los puntos de adquisición de la muestra y el Método
- Edad de los materiales de Concreto
- Promedio de la Altura y Diámetro
- Capacidad de Carga Máxima
- Resultados de Resistencia de Compactación
- Método de Curado y su temperatura
- Esquema del Diagrama de Destrucción

Método Físico [Método del Martillo Schmidt] *Miembro de Concreto, Resistencia del Concreto*

METODO DE INSPECCION

Equipo de Inspección

Martillo Schmidt



Escoba



Pasos de Inspección

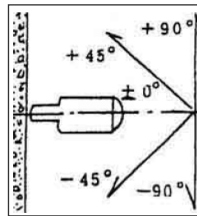
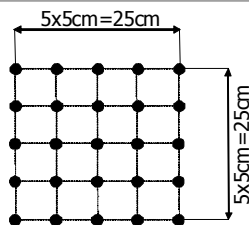
1. La parte a medir debe ser dada como superficie lisa.
2. El inspector mide 25 puntos y la condición de medición debe ser perpendicular
3. Se eliminan cinco (5) valores extremos
4. Los restantes veinte (20) valores "R" deben ser promediados
5. El valor estándar "Ro" debe ser calculado como

$$R_o = R + \delta R$$

6. La resistencia a la compresión "F" de la parte será obtenida de la formula

$$F = -184 + 13.0 \times R_o \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad \text{or}$$

$$F = 0.098 \times (-184 + 13.0 \times R_o) \text{ (N/mm}^2\text{)}$$



R	δR			
	+90deg.	+45deg.	-45deg.	-90deg.
10	—	—	—	—
20	-5.4	-3.5	+2.5	+3.4
30	-4.7	-3.1	+2.3	+3.1
40	-3.6	-2.6	+2.0	+2.7
50	-3.1	-2.1	+1.6	+2.2
60	-2.3	-1.6	+1.3	+1.7

Como Reportar

Los resultados de inspección deben incluir:

- Edad de los materiales del concreto
- Condición de la superficie de concreto
- Mezcla de los componentes de concreto
- Tipo de herramienta de medida
- Parte y punto de medida incluyendo la dirección de la penetración
- Cada resultado de medida y promedios
- Formula estimada para la resistencia del concreto y resultados

Result of Schmidt hammer test

Date: _____
 Route No.: _____
 Bridge Name: _____
 Part of bridge: _____
 Each rebound value

Average of 25 rebound values: _____
 Pick up the scattering values: _____
 Average of remained 20 rebound values: _____
 Compressive strength: _____ kg/cm2
 _____ N/mm2

Método Químico [Prueba de Fenofaleína]

Miembro de Concreto, Carbonatación

METODO DE INSPECCION

Equipo de Inspección

Taladro Eléctrico



Calibrador



Pasos de Inspección

2. Dejar que el filtro de papel absorba el líquido de prueba tal como Fenofaleína al 1% de densidad.
3. Durante la perforación del concreto, fragmentos de concreto serán tomados por el papel como lo muestra la foto de abajo.
4. Cuando el papel cambia a color rojo, la sección de concreto ya ha sido neutralizada desde la superficie del concreto hasta esa profundidad.
5. La profundidad de neutralización será medida con la longitud de la perforación con una precisión de 0.1mm del Calibrador.
6. El procedimiento 3 debe ser tomado en 3 puntos de prueba. El resultado es tomado del promedio de los valores...

Nota: La solución de Fenofaleína cambia a color rojo con más de pH8.2 a pH10.0 en la parte alcalina.

Nota: Si la desviación en cada valor contra el promedio es alrededor de +-30% se deben hacer más pruebas

Taladro eléctrico



Papel inmerso en solución de fenofalina

Como Reportar

Los resultados de inspección deben incluir:

- Fecha, Clima
- Nombre del Inspector
- Punto y Área de Inspección
- Resultados de Inspección de Profundidad de Neutralización

METODO DE INSPECCION

Equipo de Inspección

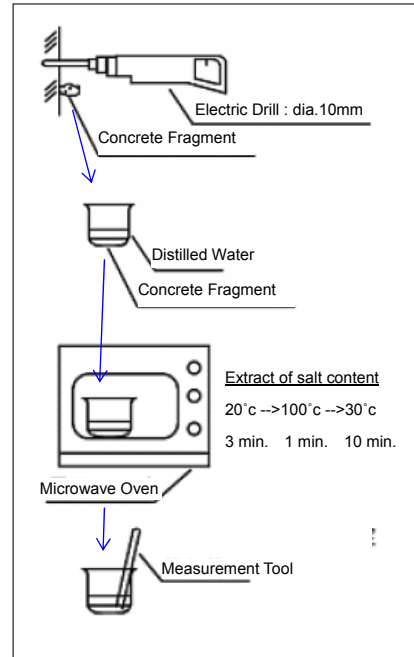


Taladro eléctrico: dia.10mm

Herramienta de medida

Pasos de Inspección

1. Durante el perforado del concreto cada dos (2) centímetros fragmentos de concreto serán tomados dentro de un embase de veinte (20) gramos.
2. Fragmentos de concreto de cinco (5) gramos serán revueltos con agua destilado de diez (10) milímetros en un beaker.
3. El beaker debe introducirse en un microondas.
4. El material de prueba debe ser calentado y hervido a cien (100) grados durante tres (3) minutos para extraer el contenido de sal. Y el material de prueba debe enfriarse al natural.
5. La cantidad de agua destilada evaporada debe ser revisada y la concentración de iones de cloro medidos con las herramientas de medición.



Como Reportar

La corrosión por grado de cloruro es identificada por los resultados de los siguientes niveles:

- Nivel-1: Concentración del ion de cloruro $\leq 1.2 \text{ kg/m}^3$ (No corrosión)
- Nivel-2: $1.2 \text{ kg/m}^3 < \text{Concentración del ion de cloruro}$ (Empieza la corrosión)
- Nivel-3: Ocurren Grietas por corrosión.
- Nivel-4: Ocurren grietas por corrosión. El concreto cerca de barras de acero comienza a desprenderse.
- Nivel-5: Ocurren grietas por corrosión. El concreto cerca de barras de acero comienza a desprenderse.

Método Eléctrico [Prueba de Auto Potencial] *Miembro de Concreto, Corrosión del Refuerzo*

METODO DE INSPECCION

Equipo de Inspección

Medidor del Auto-Potencial



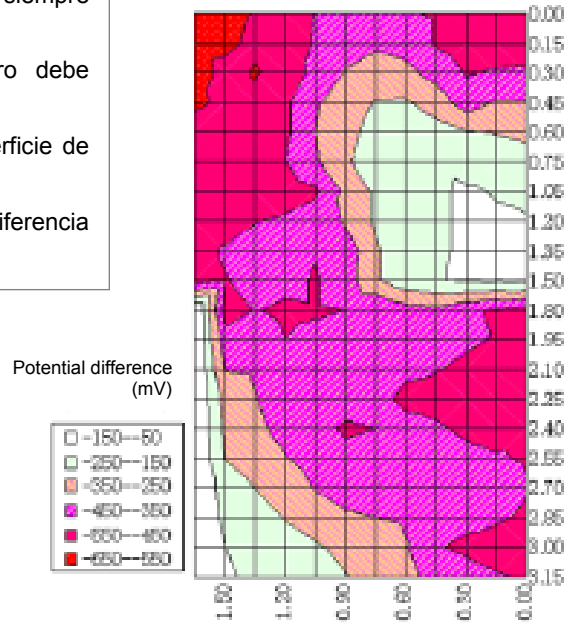
Sensor

Terminal eléctrico para barras

Pasos de Inspección

1. La superficie de concreto debe humedecerse siempre durante el diagnostico.
2. El Terminal eléctrico para la barra de acero debe exponerse al exterior.
3. El sensor debe moverse lentamente en la superficie de concreto.
4. Los resultados son mostrados en el "Mapa de Diferencia Potencial".

Mapa de Diferencia de Potencial



Como Reportar

Se identifica corrosión en la barra de acero por los resultados del Potencial Diferencial, como lo siguiente:

Diferencia de Potencial (E)	Nivel de Corrosión
$-250\text{mV} < E$:	Nada
$-350\text{mV} < E < -250\text{mV}$:	Punto
$-450\text{mV} < E < -350\text{mV}$:	Superficie
$E < -450\text{mV}$:	Área de sección corta

Método Eléctrico [Prueba Detección de Refuerzo]

Miembro de Concreto,
 Espesor de Recubrimiento
 Posición del Refuerzo y Diámetro de Refuerzo

METODO DE INSPECCION

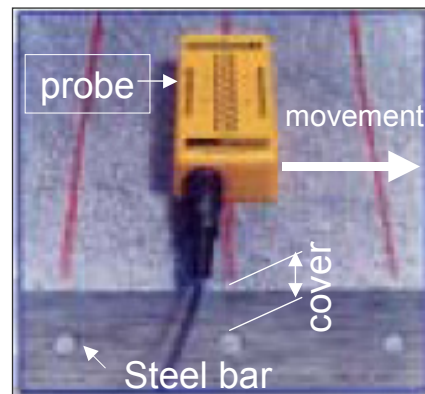
Equipo de Inspección

Profómetro (Parte de Proba y Pantalla)



Pasos de Inspección

1. El probe se moverá lentamente sobre la superficie de concreto.
2. Un sonido de beep "pi" se escuchara en las barras de acero.
3. La pantalla muestra la "Posición de las Barras de Acero", "Recubrimiento de Acero" y "Diámetro de Barras de Acero."



Como Reportar

Los resultados de inspección deben incluir los Puntos de Adquisición de muestras y Método

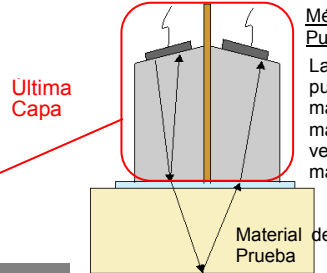
MÉTODO DE INSPECCIÓN

Equipo de Inspección (Caliper, Herramienta de medición del grosor de la placa por onda ultrasónica)

Caliper



Herramienta de medición del grosor de la placa



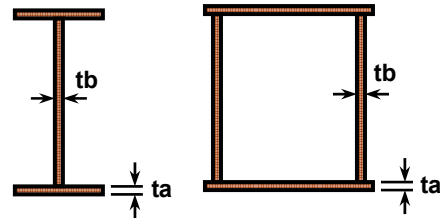
Método de Reflexión del Pulso

La diferencia del tiempo del pulso reflectivo entre el material de prueba y el material de equipo interno se ve afectado por el grosor del material

Pasos de la Inspección

En general, el grosor de la placa de acero se mide con calipers dónde esta el borde abierto de la tabla (t_a).

Sin embargo, en caso de la placa cerrada (t_b), se necesita la herramienta de medición del grosor de la placa



8. identificar los puntos de medición tales como i) el area donde no hay sección transversal debido a la oxidación, ii) el área donde existe preocupación debido al diseño original.
9. Permitir que el equipo ajuste la calibración "0" al seguir las instrucciones de este.
10. Seleccionar la velocidad para la Onda Ultrasónica para las piezas de prueba.
11. Después de devolver el equipo, tocar la última superficie a las piezas de prueba y luego leer el resultado de la medición en la pantalla.

Nota Limpiar la superficie de las piezas de prueba antes de la medición

Nota Mantener lejos del agua

Nota Si la superficie de las piezas de prueba no es plana ni tiene corrosión, pula la superficie para que este lisa.



Como hacer el informe

Los resultados de la inspección deben incluir:

- Resultados del grosor
- Medición del area o punto (indicado en el diagrama)
- Fotografía
- Fecha de Inspección
- Método de Inspección
- Observación

Nota: Estos resultados de la medición son importantes para comprender la tendencia o situación presente para el deterioro del material. Por lo tanto, los resultados históricos se deberán recopilar debidamente con la fecha del diseño.

5.3 Hojas de inspección y registro

A continuación se presentan las hojas de inspección, el resultado de la inspección detallada que incluye el resultado de las pruebas en sitio, los dibujos que describen la situación de la deficiencia/deterioro y las fotografías se reportan en estas hojas. Los procedimientos específicos del reporte se pueden conducir al referir ejemplos en el apéndice.

Tabla 5.3.1. Hoja de Inspección Detallada (1/2)

HOJA DE INSPECCIÓN DETALLADA DE PUENTES (1)			Fecha de Inspección		20 / 1 / 2006	
Resultados de la Inspección Detallada en Sitio						
Nombre del Puente		No.Puente	Nombre de Ruta	Kilómetro	Administrado por	
Río Aranjuez		2	1	112.33 Km		

Ubicación o Dirección			Finalizado Año/Mes/día			
Provincia	Cantón	Distrito	Diseño	17 / 11 / 1950		
Puntarenas	Puntarenas	Pitahaya	Finalizado	ND / ND / 1955		
Longitud	Número de Tramos	Grado o Carga Viva	Volumen de Tráfico (24h)	Promedio de Vehículos Comerciales	Fecha del Estudio de Tráfico	
87.78 m	3	HS15-S12	4,000	%	30 / 6 / 2003	

Tipo de Puente	
Súper Estructura	Cercha de Acero con longitud total de 87.78 m
Subestructura	Pilas 2 Pilas de Concreto, Columna de Sección Variable y Bastiones tipo Marco con columnas de
	Bastión
Fundación	Pilas Placa de Fundación
	Bastión

Condición de Daños	
Accesorios	<ul style="list-style-type: none"> - No hay pavimento en la losa. Los vehículos ruedan directamente sobre la losa. - Se observan muchas grietas y huecos en la superficie de la losa - Las juntas de expansión se encuentran dañadas
Superestructura	<ul style="list-style-type: none"> - Se observo en todos los miembros decoloración, oxidación y descascaramiento de la pintura - Se observo muchas grietas y eflorescencia en la losa del concreto - Las grietas ocurren en 2 direcciones (longitudinal y transversal) - Se observo decoloración y oxidación en los soportes - Existen condiciones muy sucias alrededor de los soportes
Subestructura	<ul style="list-style-type: none"> - La superficie de la pila está golpeada por el flujo del río - En la Pila No.2 se observan las juntas frías - Existe descascaramiento y refuerzos expuestos causados por la corrosión de las barras en el bastión B2.
Fundación	<ul style="list-style-type: none"> - Se observó una pequeña socavación

Tabla 5.3.2. Hoja de Inspección detallada (2/2)

HOJA DE INSPECCIÓN DETALLADA DE PUENTES (1)				Fecha de Inspección	
Resultados de la Inspección Detallada en Sitio				20 /	1 / 2006
Nombre del Puente	No. Puente	Nombre de Ruta	Kilómetro	Administrado por	
Río Aranjuez	2	1	112.33 Km		
Resultado de las Pruebas					
Resistencia del Concreto	Prueba del Martillo Schmidt				
	Lugar	Bastión No.1	Pila No.1		
	Resultado	349.41 kg/cm2	400.75 kg/cm2		
	Hoja No.				
	Muestra del Núcleo				
	Lugar				
Grosor del Miembro de Acero	Resultado				
	Lugar				
	Resultado				
	Lugar				
Carbonatación	Lugar	Bastión No.1	Pila No.1		
	Resultado	Depth = 6.06 cm	Depth = 3.83 cm		
Disposición del Refuerzo	Lugar				
	Resultado				
Comentarios					
Apariencia Exterior					

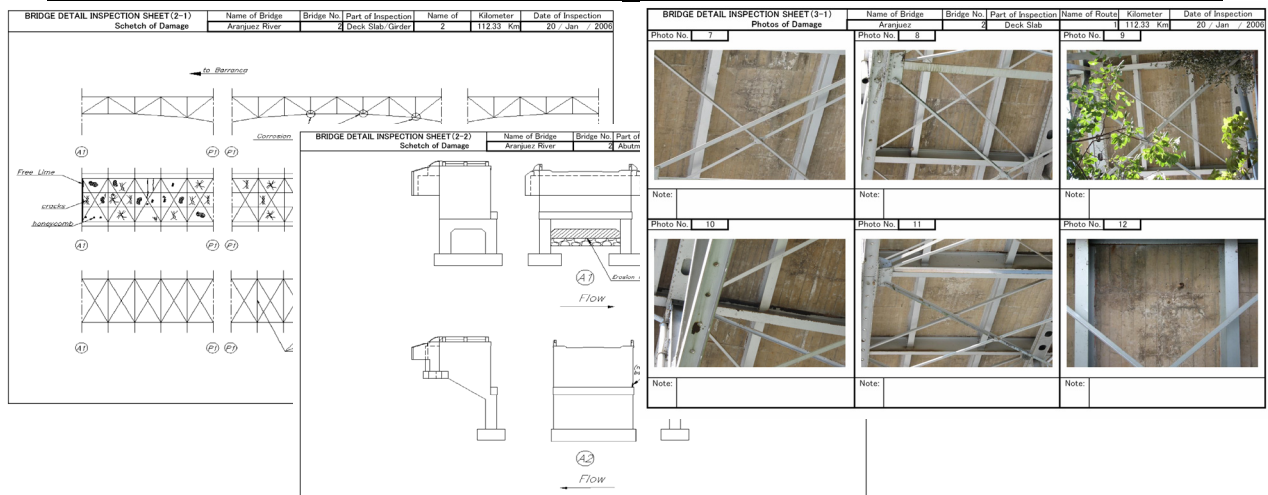


Figura 5.3.1. Resultados de la Inspección detallada (Diagrama del deterioro / Fotografía)

CAPÍTULO 6 ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y PRUEBA DE CARGA DE PUENTES

6.1 Método Analítico

Se requiere del análisis estructural para los puentes existentes, cuando se encuentran algunos daños en las estructuras de puentes durante la inspección detallada o cuando la carga viva real en una situación presente se espera que sea más pesada que la carga viva del diseño del puente.

El análisis de la estructura del Puente se divide en tres partes principales, la superestructura, la subestructura y la fundación. Estos se dividen en partes más pequeñas dependiendo del tipo estructural de estas. Con el desarrollo de la computadora, la estructura del puente se ha hecho más compleja y de mayor escala, la mayoría de estos diseños han sido analizados por muchos tipos de software (programas de análisis estructural) con computadora. Y algunos de los puentes existentes han sido probados por la prueba de carga para verificar la capacidad real de la carga viva.

6.1.1 Análisis Estructural

El AASHTO se usa para el estándar de diseño para las estructuras de puentes en Costa Rica. El análisis estructural se debe de realizar para verificar las estructuras de acuerdo con las regulaciones que se encuentran en el AASHTO. Las partes del puente, que se pueden realizar con calculaciones manuales son muy limitadas. Solamente las estructuras simples, tales como las puentes de tramo simple y losa se pueden calcular a mano, cuando las estructuras se diseñan de acuerdo con el AASHTO. El programa de análisis estructural SAP se usa para el análisis estructural del diseño de puentes. El programa de apoyo para el SAP puede hacer los datos de la carga viva que se estipula en el AASHTO. Los métodos comunes de análisis se muestran en la Tabla 6.1.1.

Tabla 6.1.1. Métodos para el Análisis Estructural

Parte de Diseño		Metodos para el Análisis de la Estructura
Losa		Cálculo Manual
Superestructura	Viga simple	Cálculo Manual
	Otro tipo	Programas de Análisis Estructural
Subestructura	Excepto el tipo de Marco rígido	Programas de Análisis Estructural
	Tipo Marco rígido	Cálculo Manual
Fundación	Tipo Distribuido	Cálculo Manual
	Tipo Pila	Cálculo Manual u otro programa

6.1.2 Modelo para el análisis

El modelo estructural para verificar el diseño de los puentes existentes, los que se requieren para una reparación o reforzamiento, se hace con base en los planos existentes y el informe del diseño de estos. Sin embargo, actualmente los informes del diseño no se mantienen para la mayoría de los puentes viejos.

Para hacer un modelo estructural basado en los planos existentes, es importante entender las características de las estructuras del puente y los materiales usados y las regulaciones del AASHTO en el período de construcción del puente y actualmente. Los puntos de verificación para hacer un modelo estructural para el análisis se mencionan en la Tabla 6.1.2.

Tabla 6.1.2. Puntos de Verificación para hacer el Modelo Estructural

Ítems	Puntos de Verificación
Características de los Materiales	<ul style="list-style-type: none">- Grado de cada material tal como el acero de refuerzo, la placa de acero y el cable de PC.- El Diseño y el material estándar para cada grado cuando el Puente fue construido.- Peso unitario de materiales.
Tipo Estructural	<ul style="list-style-type: none">- El acero de refuerzo entre la losa y la viga principal para decidir la estructura compuesta o no (rigidez de la viga principal)- Ancho efectivo de la losa como una sección de la viga principal para una viga compuesta.- Condiciones de apoyo.
Método de Construcción	<ul style="list-style-type: none">- Para puentes con viga cajón de concreto (Método de voladizo o por el método de etapas)- Para una viga de concreto colado en sitio para estimar la capacidad de apoyo
Condiciones del Apoyo	<ul style="list-style-type: none">- Se requiere un Nuevo estudio geológico para comparar las condiciones del suelo que se definen en los planos.

El Modelo para el análisis se debe de seleccionar de acuerdo con el tipo estructural del puente. El modelo de la viga se necesita para el puente de múltiples vigas normal. El modelo de marco rígido incluye los miembros de pilas que se ocupan para el análisis del puente de marco rígido. El modelo de viga se puede aplicar en los puentes de viga cajón.

Los modelos de análisis estructural típico, analizados por el SAP2000, se muestran de las Figura 6.1.1. a la 6.1.3.

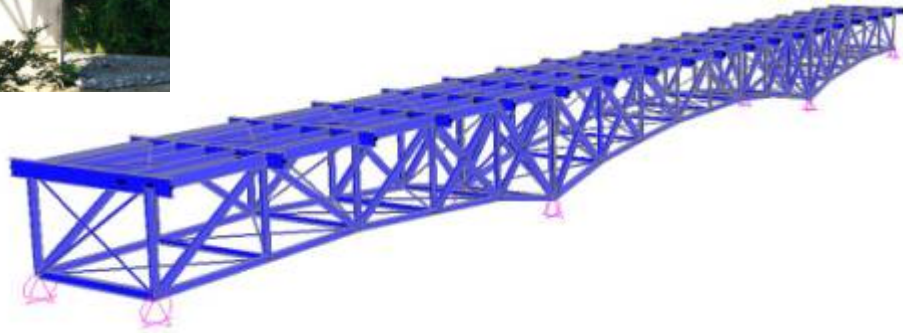
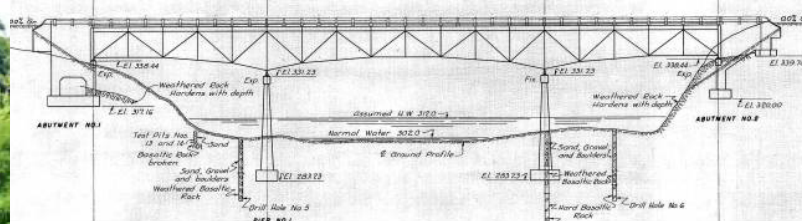


Figura 6.1.1. Modelo Estructural para el puente de Cercha

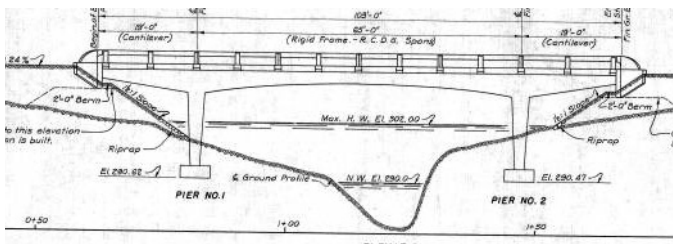
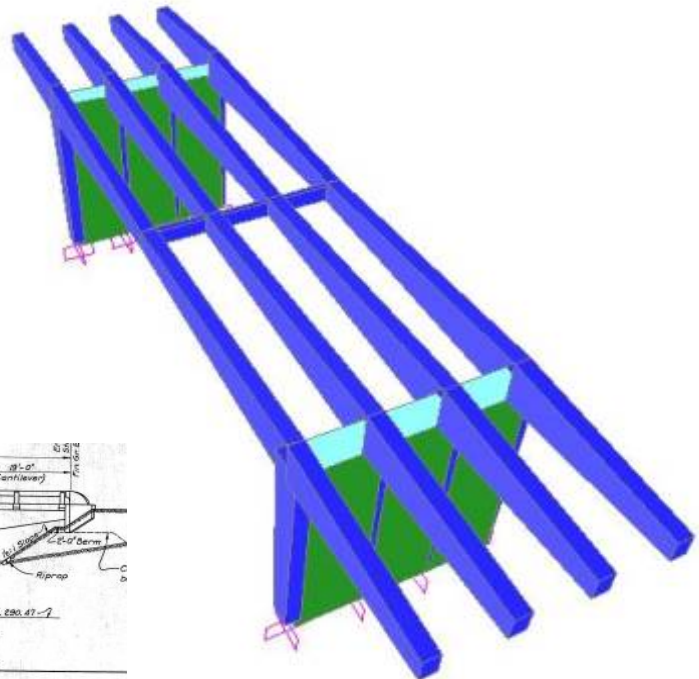


Figura 6.1.2. Modelo Estructural para Puentes de Marco Rígido de Concreto

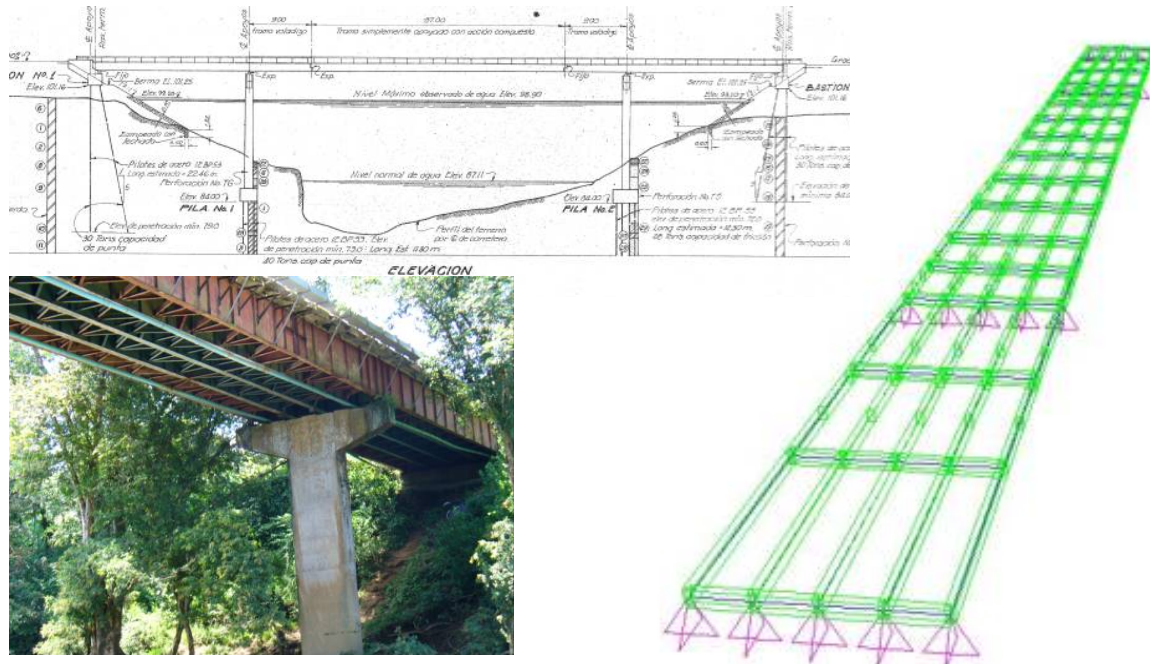


Figura 6.1.3. Modelo Estructural para el Puente de Vigas Múltiples de Acero

6.2 Prueba de carga de Puentes

6.2.1 Introducción

En el diseño de puentes, la seguridad de la estructura de puentes se evalúa con varios análisis con el modelo estructural. Estos análisis y modelos incluyen muchas ubicaciones con base en muchas experiencias para simplificar los métodos de diseño. Por lo tanto, hay algunas diferencias en el comportamiento entre el diseño del análisis y el puente real.

La prueba de carga en el Puente existente se realiza con el propósito de la evaluación de la capacidad de carga y la durabilidad de la fatiga para los miembros de acero al medir la deformación y el esfuerzo del puente bajo la carga real en el puente existente. Estos resultados de las pruebas usan un material para hacer un plan para reparar o reforzar el puente, después de comparar los resultados entre el análisis estructural y las pruebas de carga.

Para los puentes viejos, con los que no se cuenta con los planos de diseño, la prueba de carga se realiza con el propósito de establecer las condiciones del análisis estructural para el diseño de reparación o reforzamiento.

6.2.2 Situaciones que se necesitan para la Prueba de Carga de Puentes

Realizar la prueba de carga de puentes no es fácil y tampoco es barata. Se recomienda el juzgar la necesidad de la prueba con el puente objetivo tiene una de las siguientes situaciones:

- Se observa deterioro y daños en la estructura del Puente y se puede juzgar que no es apropiado estimar la capacidad de carga solamente por el análisis bajo las condiciones de diseño original.
- Se observan deflexiones anormales o deformaciones en la estructura del Puente inmediatamente después de su finalización (los errores de diseño o trabajos de construcción)
- Un vehículo pesado especial que excede la carga de diseño tiene que pasar a través del puente.
- La fatiga del miembro de acero puede ser pronosticada.

6.2.3 Capacidad de Carga

La capacidad de carga del Puente se evalúa básicamente por el análisis estructural de acuerdo a los estándares de diseño tales como AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials). Cuando se necesita la prueba de carga de un puente bajo situaciones como las mostradas en el punto 6.2.2, el resultado de una prueba se usará como uno de los materiales de criterio para la evaluación de la capacidad de carga del puente.

La evaluación de la capacidad de carga con la prueba de carga del Puente se procede de acuerdo a la secuencia que se muestra en la Figura 6.2.1.

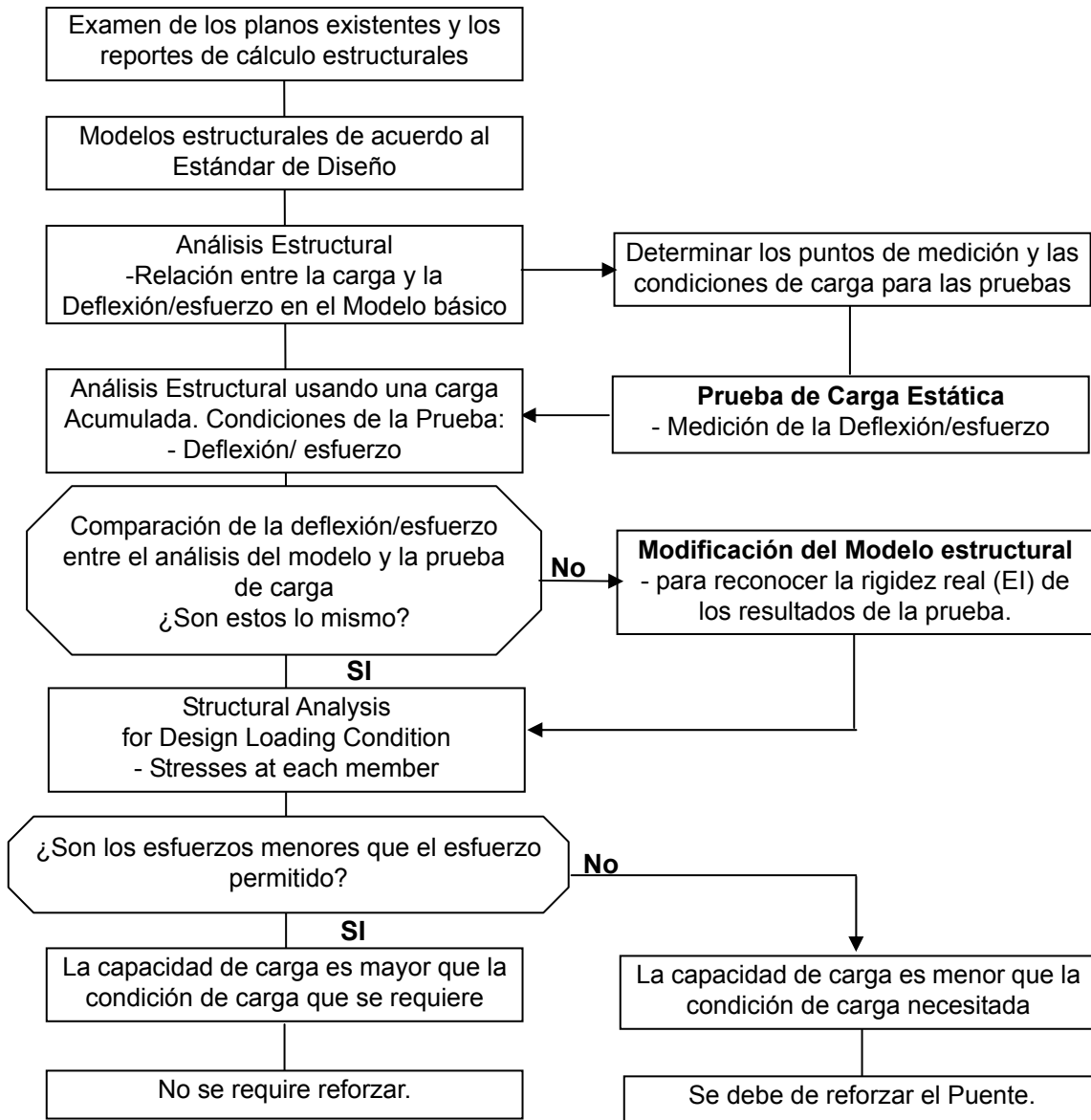
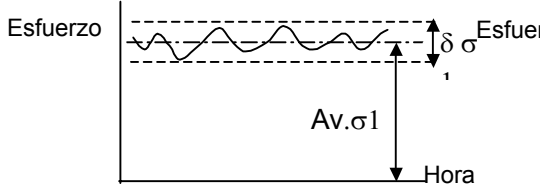
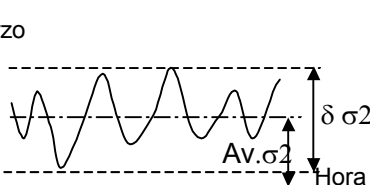


Figura 6.2.1. Secuencia de Evaluación para la Capacidad de Carga

6.2.4 La Durabilidad de la Fatiga

La fatiga de los miembros de acero es uno de los ítems más importantes para evaluar la durabilidad de los puentes de acero. La fatiga de los miembros de acero es causada por la repetición del esfuerzo. La fatiga de los miembros de acero no es afectada por esfuerzo resistente que actúa en este, es afectada por el rango de variación del esfuerzo. Es decir, aunque un esfuerzo muy fuerte esté actuando en el miembro, cuando su rango de variación de esfuerzo fue pequeño, la influencia por la fatiga es pequeña. La fatiga procede en proporción al número de la repetición de esfuerzo y cuando el número de repetición alcanza el límite, se creará una grieta o rompimiento en el miembro de acero. La Tabla 6.2.1 muestra las imágenes de relación entre el esfuerzo y la fatiga en los miembros de acero.

Tabla 6.2.1. Relación entre el Esfuerzo y la Fatiga

Imagen del Esfuerzo		
Promedio del esfuerzo: $Av. \sigma$	Alto	Bajo
Variación del rango de esfuerzo $\delta\sigma$	Estrecho	Ancho
Influencia por fatiga	Pequeño	Grande

1) Partes del Puente afectadas por la fatiga

Las partes del Puente, que son fácilmente afectadas por la fatiga, son las partes de conexión de la placa de unión del arriostramiento transversal, lateral y el diafragma como se muestra en la Figura 6.2.2.

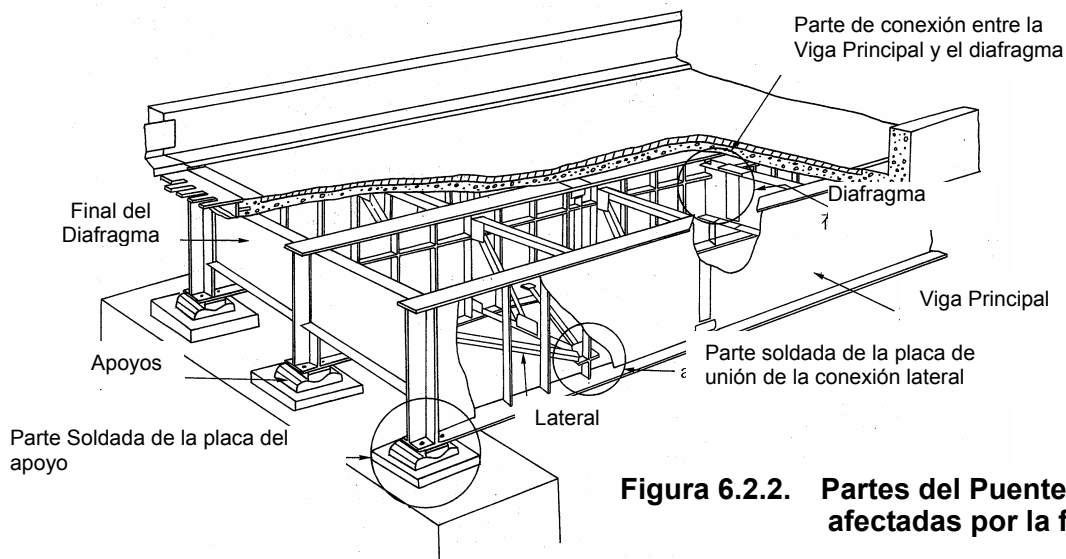


Figura 6.2.2. Partes del Puente afectadas por la fatiga

2) Secuencia de evaluación de la durabilidad para la fatiga

Para evaluar la durabilidad de los miembros de acero por fatiga, los datos de tráfico en la ruta donde se ubican los puentes lo mismo que los datos de frecuencia del esfuerzo medidos por la prueba de carga de tráfico real. La secuencia de evaluación de durabilidad por fatiga se muestra en la Figura 6.2.3.

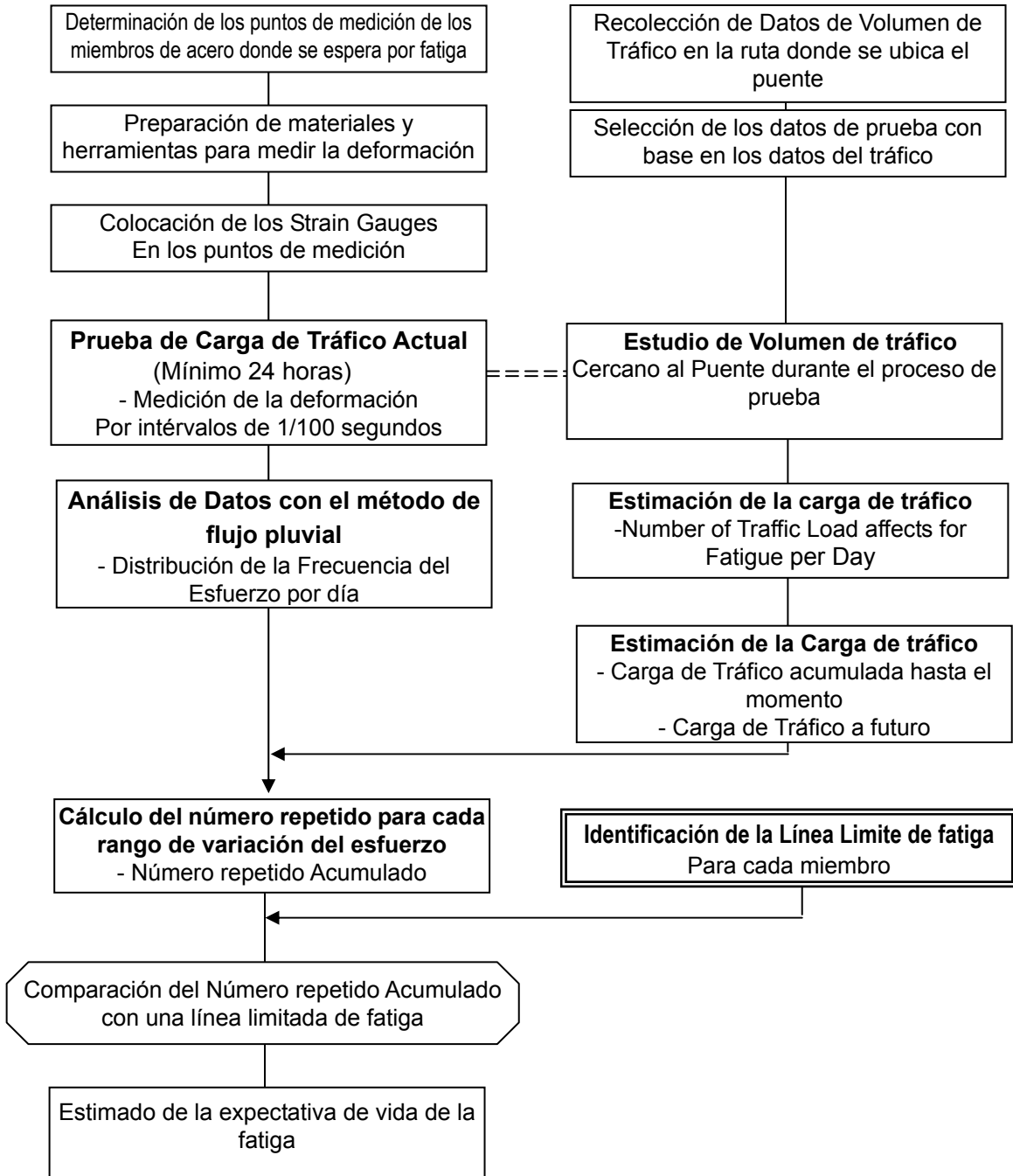


Figura 6.2.3. Secuencia de la Evaluación de Durabilidad por Fatiga

3) Método para Analizar la Distribución de la Frecuencia de Esfuerzo

La distribución de la frecuencia de esfuerzo se puede obtener de los datos de onda registrados para la prueba de carga de tráfico por el Método del Flujo Pluvial. Este es un método para transformar la onda de esfuerzo a la distribución de la frecuencia de esfuerzo al atender un rango de variación de esfuerzo 8por ejemplo: la diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo). El patrón de onda se considera como una cubierta múltiple y las diferencias se cuentan como las gotas de agua que caen de una cubierta a todas las cubiertas como se muestra en la Figura 6.2.4.

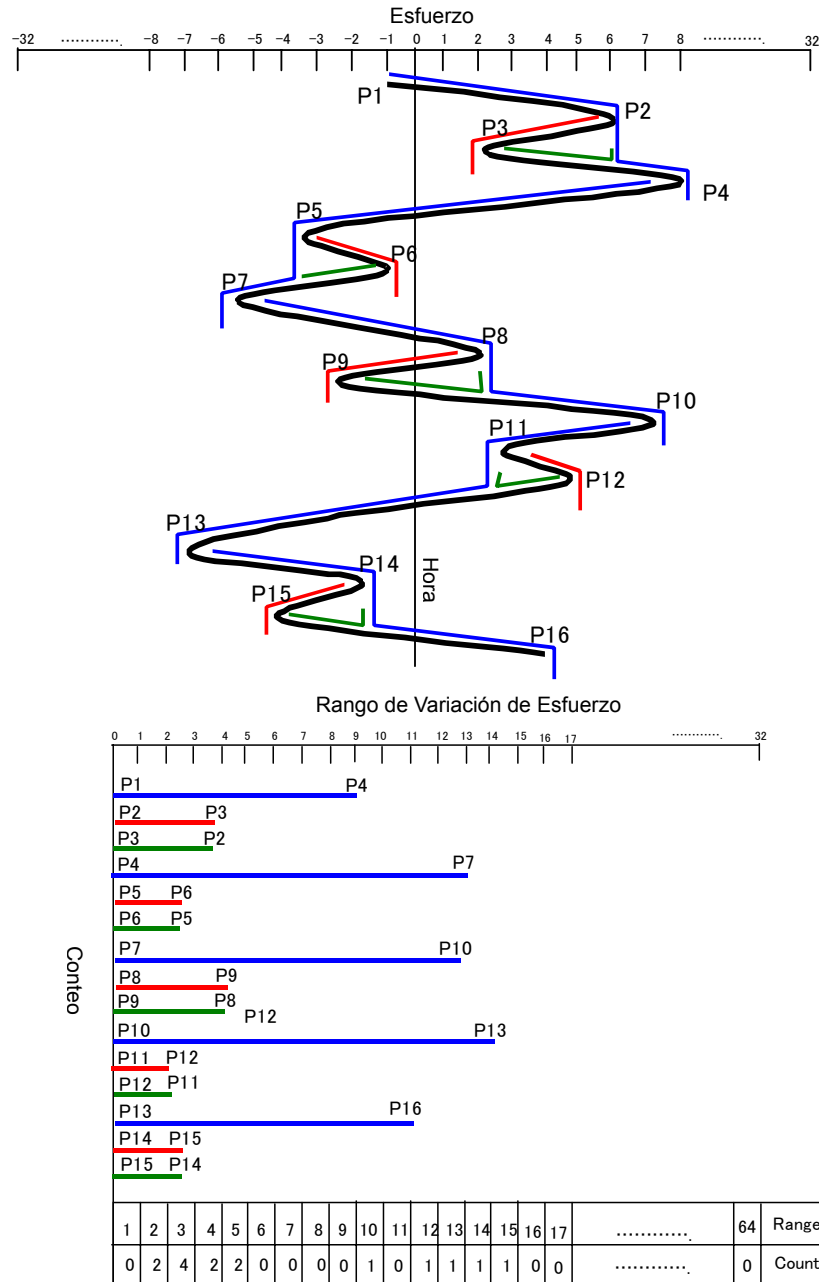


Figura 6.2.4. Imagen del Método del Flujo Pluvial

La distribución de la frecuencia de esfuerzo durante el periodo de prueba se resume al número repetido para cada rango de variación como se muestra en la Tabla 6.2.2.

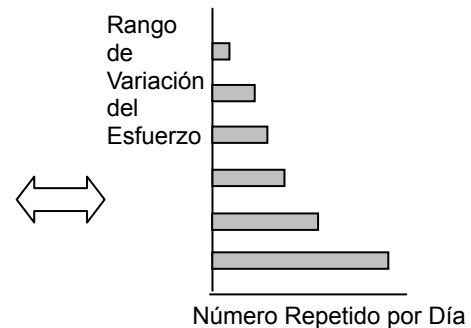
Tabla 6.2.2. Ejemplo de la Tabla de Resumen para la Frecuencia de Esfuerzo

	Rango de Variación de Esfuerzo (N/mm ²)	Número Repetido durante el Periodo de Prueba
A	50 < $\Delta\sigma$ <= 60	2
B	40 < $\Delta\sigma$ <= 50	10
C	30 < $\Delta\sigma$ <= 40	300
D	20 < $\Delta\sigma$ <= 30	1,000
E	10 < $\Delta\sigma$ <= 20	2,400
F	0 < $\Delta\sigma$ <= 10	4,200

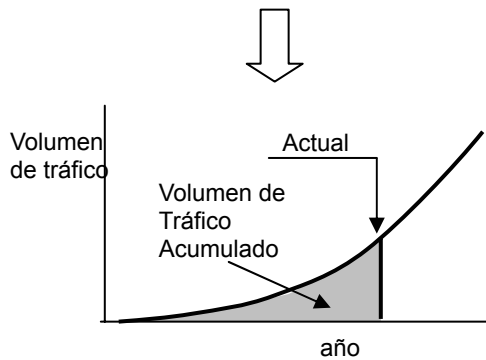
4) Número Repetido acumulado para la Distribución de la frecuencia de esfuerzo

El número repetido acumulado para cada rango de variación de esfuerzo se puede calcular con base en el volumen de tráfico observado durante el periodo de prueba y los datos del volumen de tráfico en años anteriores. El volumen de tráfico usado para efecto por fatiga.

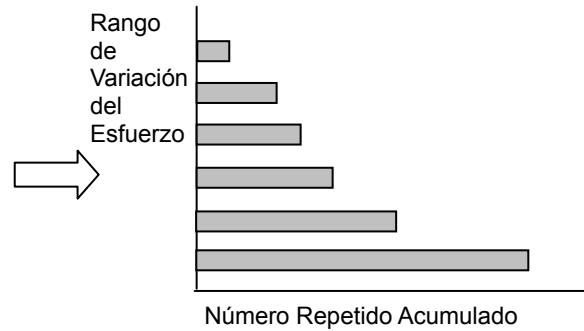
Volumen de Tráfico durante el Periodo de Prueba			
	Clase	Tipo de Vehículo	Número
Vehículos Livianos	1	Pasajeros	XXXX
	2	Carga Ligera	XXXX
Vehículos Pesados	3	Buses	XXXX
	4	Camión de 2 Ejes	XXXX
	5	Camión de 3 Ejes	XXXX
	6	Camión de 4 Ejes	XXXX
	7	Camión de 5 o más Ejes	XXXX



Frecuencia de Esfuerzo por día



Crecimiento del Volumen de Tráfico



Frecuencia del Esfuerzo Acumulado

Figura 6.2.5 Número repetido Acumulado

5) Evaluación de la Durabilidad por Fatiga

El daño por fatiga ocurre cuando el número repetido de la variación del esfuerzo se convierte el número límite, lo que depende de la variación del rango de esfuerzo. El grado del daño de fatiga se evalúa con el método del daño lineal. Con este método, el grado de daño se evalúa por el valor del grado acumulado de fatiga D el cual se calcula con la siguiente ecuación. Cuando D alcanza un daño de 1.0 ocurre la fatiga.

En caso de que se evalúe la fatiga, solo se considera el volumen de tráfico de vehículos pesados, porque se rechaza la influencia por la fatiga por vehículos livianos.

Donde el rango de variación de esfuerzo es menor que un cierto rango, no se da una fatiga aún si cualquier número de variación de esfuerzo se repita.

$$D = \frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \frac{n_3}{N_3} + \dots + \frac{n_i}{N_i} + \dots + \frac{n_j}{N_j} + \dots$$

Donde,

D: Grado Acumulado de Fatiga

Ni: Número repetido límite, donde ocurre daño por fatiga por el rango de variación de esfuerzo $\Delta\sigma_i$

ni: Número repetido acumulado para el rango de variación de esfuerzo $\Delta\sigma_i$

ni/ Ni: Grado de fatiga para el rango de variación de esfuerzo $\Delta\sigma_i$

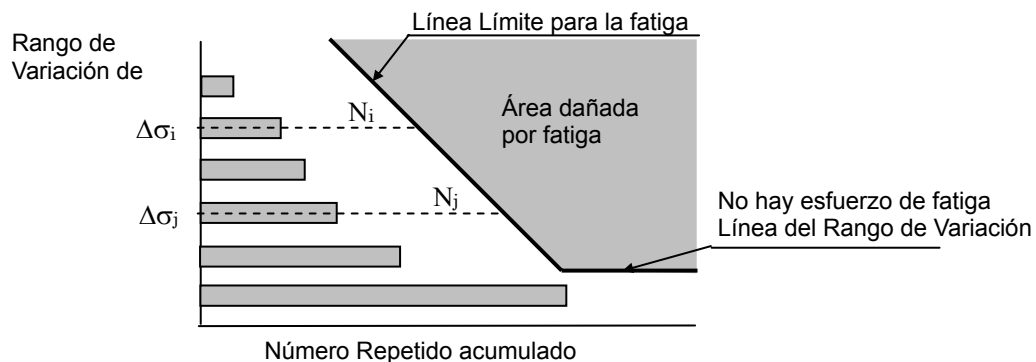


Figura 6.2.6. Imagen del grado acumulado de fatiga

6) Expectativa de vida por fatiga

Cuando una parte del miembro de acero no se daña por fatiga, por ejemplo: el daño acumulado de fatiga es menor que el valor de 1.0, la expectativa se estima con la predicción del volumen de tráfico. El grado acumulado de fatiga para un vehiculo se calcula con los resultados de la prueba de carga de tráfico real. Con base en este grado, se puede calcular el número límite de vehículos que causan el daño por fatiga. Luego, el año donde el número de tráfico acumulado alcanza el número límite se puede estimar con la curva de volumen del tráfico acumulado, como se muestra en la Figura 6.2.7. la expectativa de vida por fatiga es un periodo restante desde ese año hasta este momento.

$$D(v) = D(\text{día}) / V(\text{día})$$

$$V_f = 1.0 / D(v)$$

Donde,

D(v): Grado de Fatiga para un vehículo

D(día): Grado de fatiga para uno

V(día): Volumen de tráfico por día con base en la prueba de carga

V_f: Número de vehículos acumulados que causan el daño por fatiga.

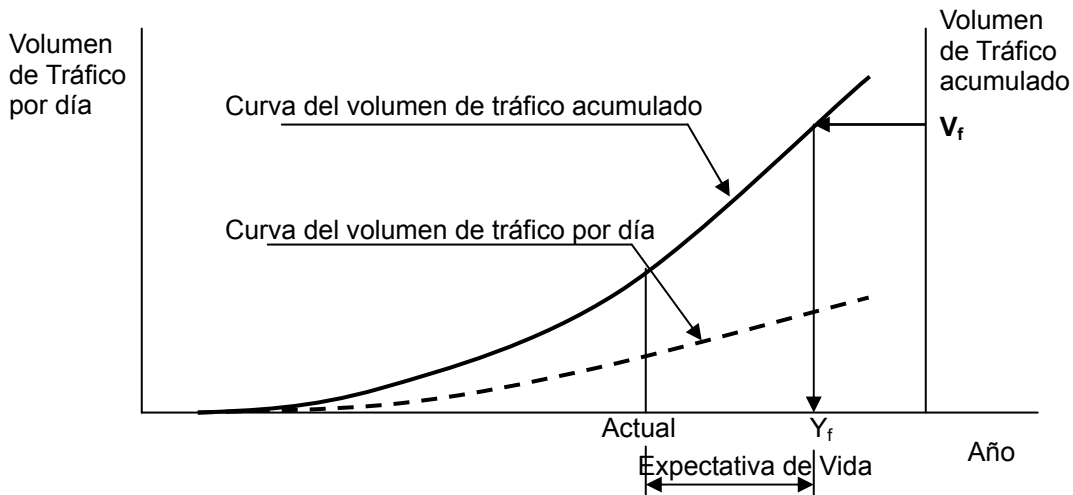


Figura 6.2.7. Expectativa de Vida y volumen de tráfico acumulado

6.2.5 Método de medición de la deflexión y el esfuerzo

1) Método de medición de la deflexión

La deflexión de la estructura del Puente se debe de medir en un orden de 0.1 mm utilizando un equipo de medición eléctrico para poder comparar la relación entre la carga y la deflexión. La Figura 6.2.8. muestra el equipo de medición. Los métodos de medición de la deflexión son diferentes según la situación del sitio del puente y los ingenieros deben de seleccionar el método de medición adecuada. Algunos ejemplos de métodos de medición de la deflexión se muestran en la Figura 6.2.9. y 6.2.10.



Figura 6.2.8 Equipo de medición de la deflexión

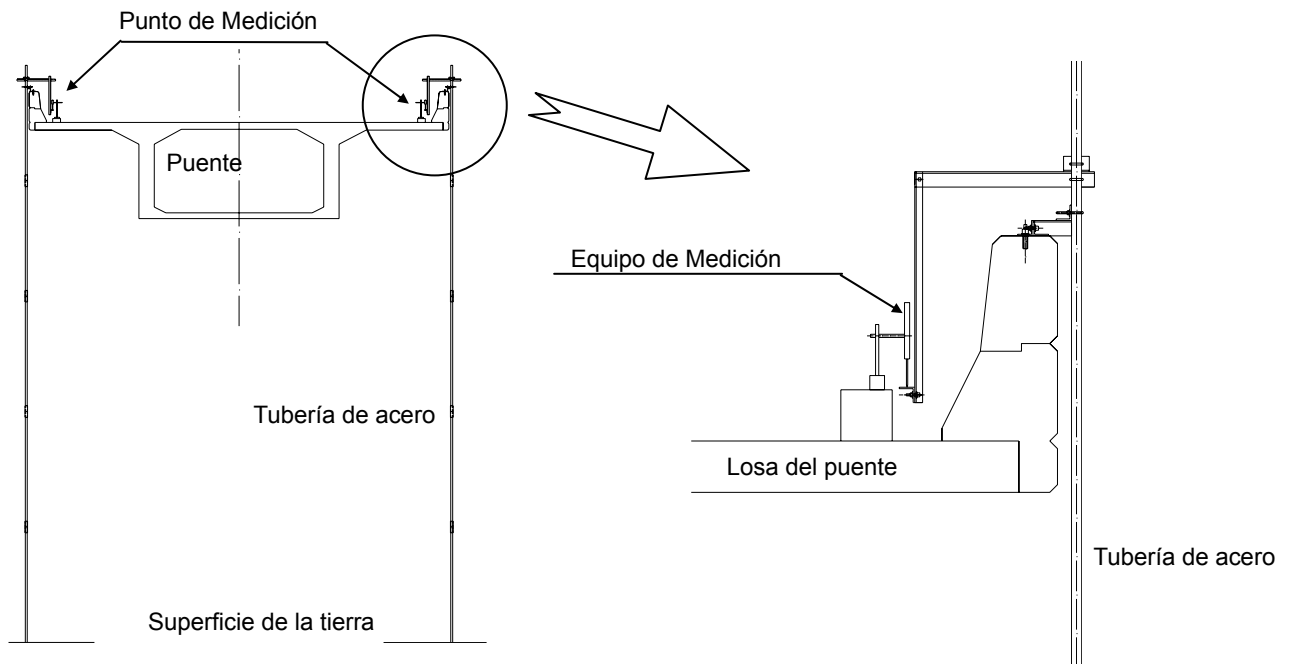


Figura 6.2.9. Ejemplo del método de medición de la deflexión (1)

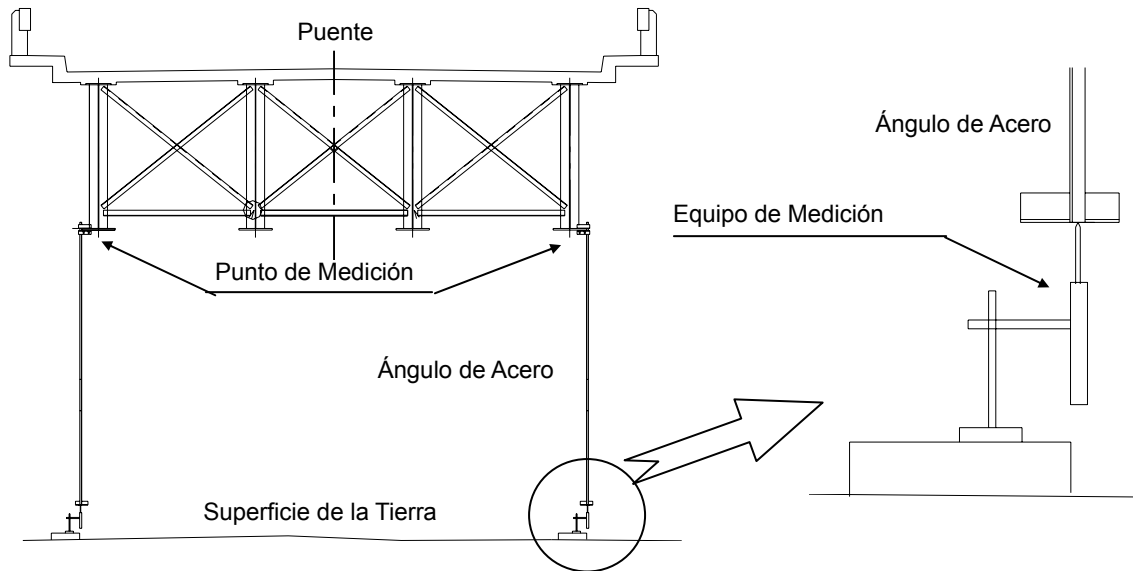


Figura 6.2.10. Ejemplo del método de medición de la deflexión (2)

2) Método de Medición del esfuerzo

El esfuerzo del miembro no puede ser medido directamente. La deformación del miembro se mide y puede ser transformado a esfuerzo al multiplicar el módulo elástico del material. La deformación deberá ser medida utilizando un strain gauge. El strain gauge cambia su resistencia eléctrica cuando se expande o encoje. Usando esta característica junto con el circuito eléctrico llamado Puente Whetstone, lo cual es un conjunto en los registro de datos, la deformación de material se obtiene un cambio de un voltaje eléctrico.

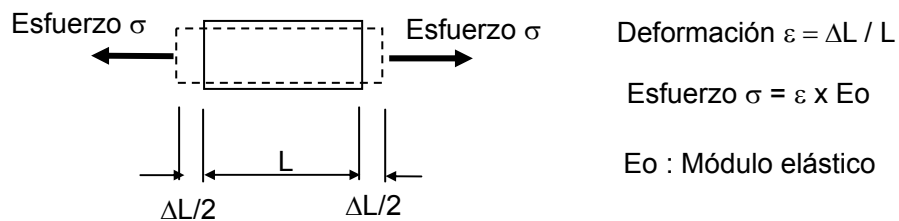


Figura 6.2.11. Esfuerzo y Deformación

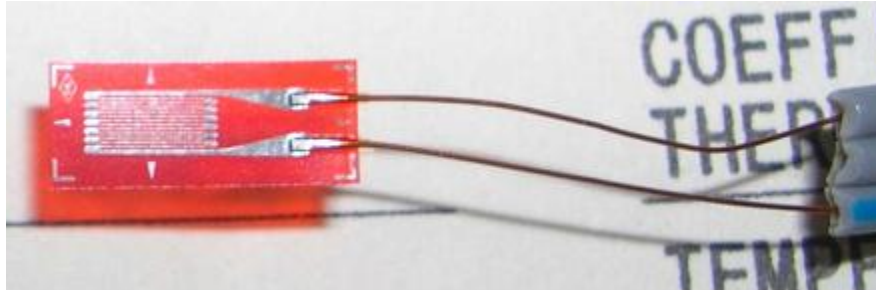


Figura 6.2.12. Strain Gauge

Hay diferentes tipos de strain gauges para los propósitos de medición. Para la prueba de carga de puentes, los valores del esfuerzo se requieren para cada área pequeña, por lo tanto se usa el strain gauge con un medidor pequeño. Especialmente, cuando se requiere del esfuerzo en el punto de soldadura, se usan más de 2 strain gauges muy pequeñas cerca del punto de medición a corta distancia, ya que el esfuerzo en el punto de soldadura no se puede medir directamente. Los strain gauges con una longitud de 3 a 5 mm se usan normalmente para los puntos de medición del esfuerzo en los miembros de acero y aquellos con medidores de una longitud de 0.3 a 0.5 mm se usan para la medición de los puntos de soldadura.

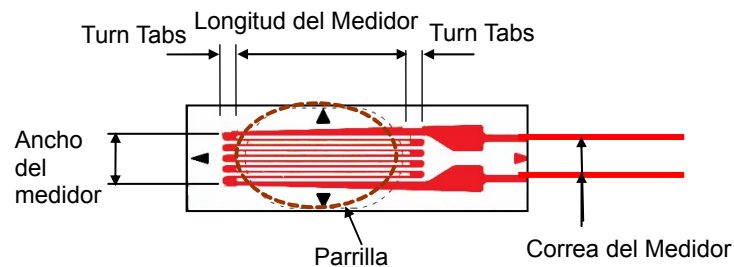


Figura 6.2.13. Detalle del Strain Gauge

6.2.6 Prueba de Carga de Puentes

1) Tipos de pruebas de carga de puentes

Los varios tipos de pruebas de cargas de puentes en los puentes existentes se realizan para evaluar las condiciones existentes de estos. Las pruebas de cargas de puentes se dividen en pruebas de carga estática y pruebas de carga dinámica por el método de carga. La relación real entre la deflexión o el esfuerzo y la carga para la estructura de puentes se obtienen por la prueba de carga estática utilizando una carga conocida. En las pruebas de carga dinámica, la relación entre la deflexión o el esfuerzo y la carga incluyen el efecto del impacto, se puede obtener la frecuencia del esfuerzo y otra información estructural del puente.

Tabla 6.2.3. Tipos de Pruebas de Carga de Puentes

Tipo de Carga	Método de Carga	Propósito principal de la prueba
Carga Estática	Carga del Vehículo	Deflexión o esfuerzo debido a la carga estática conocida
Carga Dinámica	Carga Dinámica de Vehículos	Deflexión o esfuerzo debido a la carga conocida que incluye el efecto del impacto
	Carga de Tráfico real	Distribución de la deflexión o el esfuerzo debido al tráfico actual y la frecuencia de esfuerzo por fatiga

En general, la prueba de carga estática, la prueba de carga dinámica y la prueba de carga de tráfico real se realizan para evaluar la capacidad de carga y la durabilidad de la fatiga para miembros de acero. El esfuerzo no puede ser medido directamente y se deberá calcular de la deformación al multiplicar el módulo elástico del material. La medición del esfuerzo bajo la prueba de carga de puentes se realiza normalmente solo para los puentes de acero y no se realiza para los puentes de concreto debido a las siguientes razones:

- El concreto es un material compuesto de arena, lastre y cemento, no es un solo material como lo es el acero. Por lo que, la deformación en un área pequeña del concreto se ve afectada por cada característica del material y no se puede convertir al esfuerzo del concreto.
- El esfuerzo a tensión del concreto se ignora en el diseño estructural. Por lo tanto, la comparación del esfuerzo del concreto entre el resultado de la prueba y el análisis estructural no tiene significado.

2) Prueba de Carga estática

a. Propósito de la Prueba

El propósito de la prueba de carga estática es evaluar la capacidad de carga del puente.

Con la prueba de carga estática, la deflexión o el esfuerzo de la estructura de puentes actual será medida bajo el peso de carga conocido. La relación entre la carga y la deformación o entre la carga y el esfuerzo en el puente real se deberá comparar con aquellos del análisis estructural. Los resultados de estas comparaciones serán usados como uno de los parámetros para la evaluación de la capacidad de carga del puente.

b. Ítem de Medición

Las deflexiones se miden en el punto de deflexión máximo de la viga principal tal como el centro del tramo para los puentes de concreto y los puentes de acero. El esfuerzo (deformación) deberá de ser medido en el punto de esfuerzo máximo de la viga principal y otros miembros principales de los puentes de acero.

c. Método de Prueba

El flujo de prueba de carga estática se muestra en la figura 6.2.14. El peso y el número de vehículos de carga se debe de determinar con base en la relación entre la carga y la deflexión/esfuerzo calculado por el análisis estructural básico en consideración con la escala (longitud del puente, longitud del tramo y ancho del tramo) y el tipo estructural del puente.

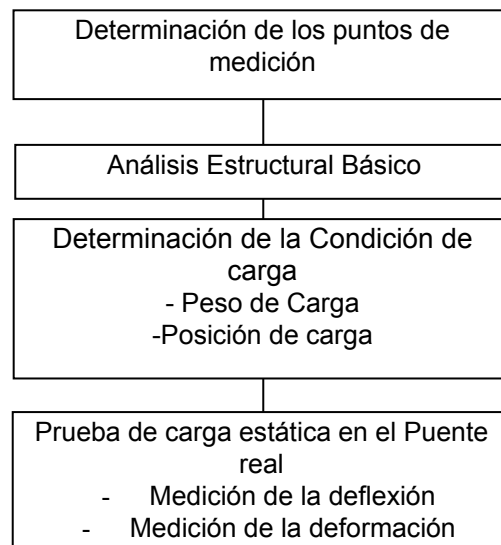


Figura 6.2.14. Flujo de la prueba de carga estática

Antes de la prueba, el peso y el tamaño (longitud total, ancho y posición de cada eje) de los vehículos de carga se deberán de medir y la posición de cada vehículo se deberá de marcar en la superficie del puente. Se requiere de la suspensión del tráfico en el puente durante el periodo de prueba.

3) Prueba de Carga Dinámica

a. Propósito de la prueba

El propósito de la prueba de carga dinámica es estimar las características de la vibración del puente, el impacto del vehículo en movimiento y los datos básicos para el rango de esfuerzo de cada miembro.

Con la prueba de carga dinámica, se medirá la deflexión o el esfuerzo de la estructura del puente real bajo el peso de carga conocida. La prueba será realizada con vehículos en varias velocidades en movimiento para estimar la influencia al impacto. La relación entre la carga y la deformación o entre la carga y el esfuerzo del puente real deberá de ser comparada con aquellos del análisis estructural. Los resultados de estas comparaciones serán utilizadas como uno de los parámetros para la evaluación de la capacidad de carga del puente. Los datos de frecuencia del esfuerzo serán usados para los datos básicos de evaluación de la durabilidad de la fatiga del miembro de acero.

b. Ítem de Medición

Las deflexiones se miden en el punto de deflexión máximo de la viga principal tal como lo es el centro del tramo para el puente de concreto y el puente de acero. El esfuerzo (deformación) deberá de ser medido en el punto de esfuerzo máximo de la viga principal y otros miembros y en los puntos de conexión de los miembros de acero, donde se encuentra normalmente la fatiga.

c. Método de Prueba

El flujo de la prueba de carga dinámica se muestra en la Figura 6.2.15. El peso del vehículo de carga se deberá determinar con base en la relación entre la carga y la deflexión/esfuerzo calculado por el análisis estructural básico en consideración con la escala (longitud del puente, longitud y ancho del tramo) y el tipo estructural del puente.

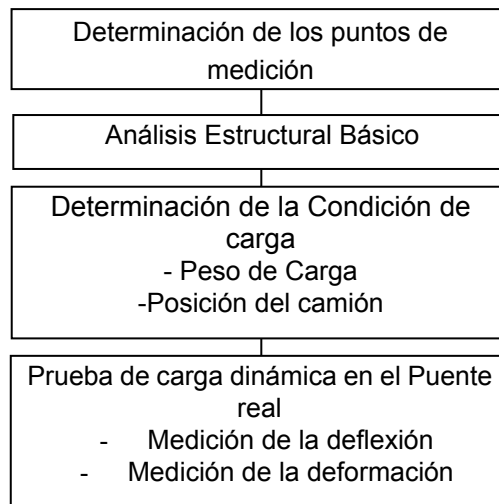


Figura 6.2.15. Flujo de la Prueba de carga dinámica

Antes de la prueba, se deberá de medir el peso de los vehículos de carga y se deberá determinar la posición del camión y la velocidad del vehículo. Se requiere la suspensión del tráfico en el puente durante esta prueba.

4) Prueba de carga de tráfico real

a. Propósito de la prueba

El propósito de la prueba de carga de tráfico real es el recopilar la frecuencia de esfuerzo de cada parte del miembro de acero durante el período de prueba. Durante el periodo de prueba, el volumen de tráfico que pasa a través del puente deberá ser estudiado. Se deberá estimar la durabilidad de la fatiga del miembro de acero con base en la frecuencia de de esfuerzo recolectada en la prueba, el volumen de tráfico durante el periodo de prueba y los datos de predicción de demanda del tráfico.

b. Ítem de medición

El esfuerzo (deformación) se deberá medir en los puntos del miembro de acero, donde se encuentra normalmente la fatiga en el punto de esfuerzo máximo de la viga principal y otros miembros principales.

c. Método de prueba

El flujo de la prueba de carga de tráfico real se muestra en la Figura 6.2.16. La prueba se deberá de realizar durante los días donde se espera un flujo de tráfico normal. La prueba deberá de continuar durante un mínimo de 24 horas (un día) y se recomienda continuar por tres días para obtener datos más precisos. Para evaluar la frecuencia de esfuerzo, es necesario recopilar los datos de esfuerzo (deformación) con intervalos cortos. Normalmente, los datos de esfuerzo (deformación) se deberán recolectar con intervalos de 1/100 segundos para cada punto de medición. El número de canales del registro de datos que puede hacer registros en intervalos tan cortos es muy limitado. El registro de datos existente en Costa Rica actualmente tiene solo 15 canales. Por lo tanto, es muy importante determinar los puntos de medición para la prueba.

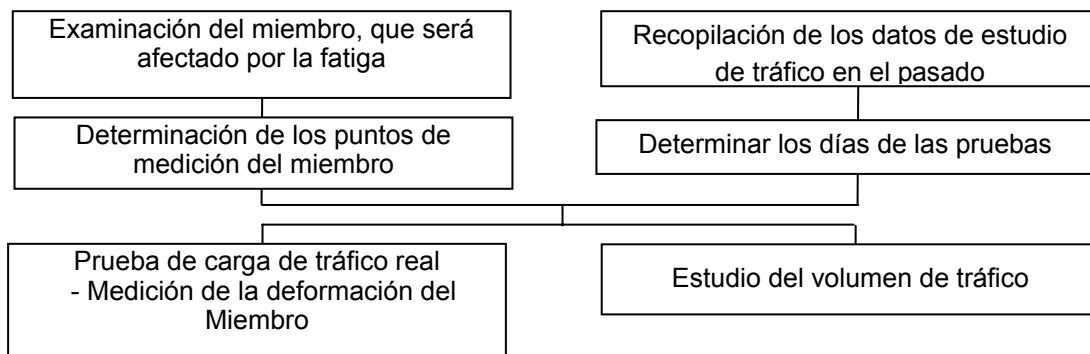


Figura 6.2.16. Flujo de la Prueba de tráfico real

El estudio del volumen de tráfico se deberá de realizar al mismo tiempo de la clasificación de los tipos de vehículos. Esta clasificación deberá ser la misma que la de los estudios de tráfico realizados anteriormente por el MOPT. La clasificación típica de los vehículos en el estudio de tráfico se muestra en la Tabla 6.2.4. El volumen de tráfico para cada clase de vehículo se deberá de sumar cada 15 minutos.

Tabla 6.2.4. Clasificación de los Vehículos para el estudio del volumen de tráfico

	Clase	Vehículos
Vehículos Livianos	1	Pasajeros
	2	Carga Liviana
Vehículos Pesados	3	Buses
	4	Camión de 2 ejes
	5	Camión de 3 ejes
	6	Camión de 4 ejes
	7	Camión de 5 o más ejes

CAPITULO 7 DISEÑO

7.1 Generalidades

Se debe planear la apropiada contramedida para reparación, rehabilitación y mejora para los puentes que serán evaluados o juzgados para tener un riesgo de desempeño de la degradación en la actualidad y en el futuro por medio de los siguientes resultados de inspección:

Uno o mas desempeños como los de durabilidad y seguridad (Capacidad de Carga, Resistencia Sísmica), servicio (Accesorios), peligros para terceras personas (Desprendimientos de fragmentos de concreto) y apariencia Externa (Pintura) han sido observados a un nivel inaceptable.

Aunque no se observe deterioro en la actualidad, es predecible que el puente vaya a tener un riesgo de deterioración del desempeño en el periodo de vida de servicio restante..

Cuando el rango de progreso del desempeño de deterioro es mas rápido que el rango de progreso predicho inicialmente para un futuro cercano.

Es necesario considerar una investigación comprensible sobre el periodo de servicio restante, costo del ciclo de vida, presupuesto permitido, impacto social del puente y la dificultad de mantenimiento y debe ser planeada su medida de correctiva en consideración de los mecanismos de deterioro y el grado de deterioro.

Cuando varios métodos y materiales están habilitados a ser aplicados como método correctivo, es importante seleccionar un método sustancial para el mecanismo de deterioro y el grado de deterioro. Mas aún, se debe prestar atención al método correctivo es diferente da cada mecanismo de deterioro aun cuando el grado de deterioro es el mismo.

7.1.2 Tipos de Medidas Correctivas

Los tipos de medidas correctivas para puentes están clasificados en siete (7) tipos, como se muestra a continuación y el método correctivo debe seleccionarse en base a esos siete tipos.

1) Intensificación de la Inspección

La intensificación de la Inspección corresponde al fortalecimiento de la inspección mediante el incremento de la frecuencia de inspección y/o el número de ítems de inspección. La frecuencia y el numero de ítems de inspección debe determinarse del resultado del evalúo/juicio y el periodo de servicio restante

2) Reparación

Las propuestas de reparación son reparación/rehabilitación de la durabilidad y exclusión de riesgo, el cual puede ser a terceros en un futuro cercano. También es importante que el trabajo de reparación elimine los factores de deterioro. Sin embargo, cuando es difícil eliminar los factores de deterioro por medio de los trabajos de reparación, se deben tomar contramedidas para controlar el progreso del deterioro.

El plan de reparación debe ser hecho en base al nivel objetivo del desempeño del puente. El método y los materiales para los trabajos de reparación deben seleccionarse en consideración de los mecanismos de deterioro y mantenimiento después de la reparación. La Tabla 7.1.1 resume un ejemplo de políticas de reparación, composición de los trabajos de reparación y el factor del nivel de reparación a ser considerado.

Tabla 7.1.1. Mecanismos de Deterioro y Plan de Reparación

Macanismos de Deterioro	Políticas de Reparación	Composición de los Trabajos de Reparación	Factores a ser considerados para el nivel de reparación
Carbonatación	<ul style="list-style-type: none"> - Remover el concreto carbonatado - Restringir la infiltración de CO2 y agua después de la reparación 	<ul style="list-style-type: none"> - Restaurar la parte carbonatada - Protección de la superficie - Re-alcalinización 	<ul style="list-style-type: none"> - Remover profundidad de concreto carbonatada - Método de protección del refuerzo ante la corrosión - Repello del material - Protección del material de la superficie - Protección del Espesor - Alcalinidad del concreto
Corrosión por sal	<ul style="list-style-type: none"> - Remover el Cl- penetrado en el concreto - Protección a la penetración de Cl- agua y oxígeno después de la reparación 	<ul style="list-style-type: none"> - Restaurar parte corroidad - Protección de la superficie - Desalineación 	<ul style="list-style-type: none"> - Removerl la profundidad del concreto penetrada por el Cl- - Método de protección del refuerzo ante la corrosión - Repello del material - Protección del material de la superficie - Protección del Espesor - Reducir el volumen de Cl-
Ataques Químicos	<ul style="list-style-type: none"> - Remover el concreto deteriorado - Restringir la infiltración de indusores químicos 	<ul style="list-style-type: none"> - Restaurar la parte deteriorada - Protección de la superficie 	<ul style="list-style-type: none"> - Repello del material - Protección del material de la superficie - Protección del Espesor - Remover la parte de concreto deteriorada
Reacción de Agregados Alcalinos	<ul style="list-style-type: none"> - Restringir el abastecimiento de agua - Liberar de agua interna - Restringir de alcalinos - Restringir el progreso de las grietas (mayor fortalecimiento es requerido) 	<ul style="list-style-type: none"> - Inyectar dentro de las grietas - Proteger Superficie 	<ul style="list-style-type: none"> - Protección del material de la superficie - Protección del Espesor -
Corrosión del Miembro de Acero	<ul style="list-style-type: none"> - Restaurar parte corroida - Re-pintar 		<ul style="list-style-type: none"> - Proteger el miembro de acero ante la corrosión
Socavación de la Fundación	<ul style="list-style-type: none"> - Restaurar lugar socavado - Protección alrededor de la fundación 	Protección por: -Rocas Grandes de Gabiones de -Bloques de concreto	<ul style="list-style-type: none"> - Tamaño del material y método

3) Refuerzo

El refuerzo es desarrollado como medida de restauración o mejora del desempeño mecánico del puente, como la capacidad de carga y la rigidez del miembro. Cuando los resultados de evalúo/juicio requieren reforzar el puente, es importante investigar la forma, dimensiones, acomodo de varillas y condiciones de esfuerzo del miembro utilizando los planos del puente y las especificaciones, y también es importante medir la forma actual, dimensión, acomodo de varillas

y transformaciones en el sitio.

Después se determina el apropiado nivel de refuerzo en consideración de la importancia del puentes y su vida de servicio restante, se debe hacer un plan de políticas básicas de refuerzo. El nivel de refuerzo es el grado de restauración o mejora del desempeño mecánico, como lo es la capacidad de carga y la rigidez del miembro. Esto debe ser determinado en consideración de lo siguiente:

- El resultado del evalúo/juicio
- Mecanismo (s) de Deterioro
- Caracterísiticas de la estructura de puente
- Importancia del puente
- Condiciones de Carga
- Facilidad de mantenimiento
- Periodo de servicio restante

El método de refuerzo debe ser seleccionado para satisfacer le nivel de refuerzo apropiado en consideración de las condiciones estructurales anteriores, condiciones de ejecución, costo e influencia en la comunidad/ambiente durante su ejecución. La mayoría de métodos de refuerzo estan clasificados como se muestra en la Tabla 7.1.2.

Tabla 7.1.2. Mayoría de Métodos de Refuerzo

Cambio de Miembros	<ul style="list-style-type: none"> - Reconstrucción de losa - Cambio de miembros de acero - Cambio de apoyos - Cambio de Juntas de Expansión
Incrementar Sección	<ul style="list-style-type: none"> - Incremento de espesor - Encamisado de concreto
Miembros adicionales y/o soportes	<ul style="list-style-type: none"> - Viga Adicional - Soporte Adicional
Refuerzo Adicional	<ul style="list-style-type: none"> - Adherencia de Placas de Acero - Adherencia de FRP - Encamisado de placas de acero - Encamisado de FRP - Adicionar placa de acero al miembro de acero
Refuerzo por presfuerzo	<ul style="list-style-type: none"> - Método del cable externo
Mejorar la sismicidad	<ul style="list-style-type: none"> - Ensanchar la base de soporte para mantener la longitud de asiento (LA) - Instalar Sistema de Prevención de Asientos
Reconstrucción o refuerzo	<ul style="list-style-type: none"> - Incrementar Pilas y Fundaciones Aisladas - Recontrucción de una nueva fundación

4) Apariencia Exterior

La apariencia exterior se refiere a mejora del paisaje por, ejemplo, pintura, cubrir la estructura o colocar una sobrecapa de concreto. El plan de mejora de la apariencia externa y el plan de ejecución debe ser en consideración del paisaje del área, el periodo de servicio restante del puentes y el mantenimiento después del trabajo de mejora.

5) Mejorar la Función del Puente

Mejorar la función del puente significa que la función del puente será mejorada a un nivel mas alto que la condición original como el incremento de líneas o instalar aceras adicionales. Antes de comenzar la mejora, se debe decidir un plan de ejecución y nivel objetivo.

6) Restringir el Tráfico

La restricción del tráfico se refiere a imposiciones en el uso como limitaciones en la carga de trafico o limites de velocidad de vehículos. El grado y método de restricción impuesto en el uso debe determinarse del resultado del evalúo/juicio e inspección.

7) Demolición/Remoción

Debe ser considerado el cómo tratar las condiciones ambientales, seguridad, manejo/deposito de miembros después de la demolición/remoción del puente.

7.1.3 Nivel Objetivo del Desempeño del Puente

El nivel objetivo de desempeño del puente después de la mejora debe ser determinado, primero marcando planes de medidas correctivas de deterioro del puente. El nivel objetivo del desempeño del puente esta clasificado en tres (3) niveles como lo muestra la Figura 7.1.3. Esta tabla muestra también la relación entre el nivel objetivo y la medida correctiva en cada ocupación del puente.

En caso de deterioros serios para peligros a terceros en el futuro cercano, debe ser llevada a cabo la apropiada medida correctiva inmediatamente.

Tabla 7.1.3. Medidas Correctivas Clasificadas por Nivel de rendimiento Objetivo

Desempeño	Target Degree of Measure		
	Desempeño entre la etapa de culminación y la condición actual	Desempeño a la etapa de culminación	Mayor que el desempeño en la etapa de culminación
Durabilidad y Seguridad (Capacidad de Carga, Resistencia Sísmica)	Reparar	Rehabilitación	Refuerzo ¹⁾
Servicio (Accesorios)	Reparar	Rehabilitación	Rehabilitación
Daño a terceros (Concrete fragment falling)	Reparar	Reparar	Reparar
Apariencia Externa (Pintura)	Reparar	Rehabilitación	Mejora

Nota; 1) : Este caso requiere de soporte analítico en general

7.2 Medida Correctiva

7.2.1 Losa

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

1) Método para Reforzar la Losa

Se combinan y aplican varios tipos de métodos para la reparación y el Refuerzo de la losa de concreto según el grado de daño. Las medidas correctivas para la losa de la estructura del puente se clasifican según su propósito y método, como se muestra en Tabla 7.2.1.


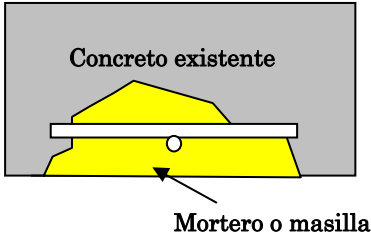
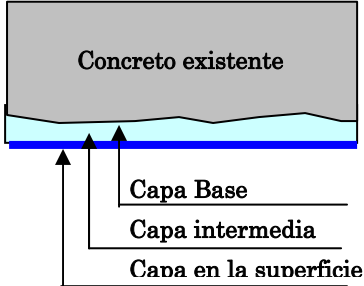
Tabla 7.2.1. Métodos Correctivos para la Losa

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

(1) Método de Reparación de la Losa de Concreto

La Tabla 7.2.2. muestra el ejemplo principal del método de reparación para los daños en la losa de concreto, tal como grietas, segregación de limos y descascaramiento. Estas reparaciones son también necesarias para reforzar donde se observan daños.

Tabla 7.2.2. Métodos de Reparación para la losa

Método de reparación	Figuras y Fotografías	Descripción del Método
<p>Reparación de la Grieta</p> <ul style="list-style-type: none"> -Inyección del Mortero de Resina -Rellenar de mortero de resina 	 <p>El diagrama muestra una grieta en un bloque de concreto que se abre en forma de V o U. Una tubería de inyección se inserta en la grieta para introducir masilla o resina epóxica. La fotografía muestra un ejemplo real de este proceso en un sitio de construcción.</p>	<p>Cortar la superficie del concreto en forma de V o U alrededor de las grietas y rellenarlas con mortero de resina para prevenir que el agua, la sal o el dióxido de carbono penetren. Los materiales de relleno deberán de ser de calidad para poder penetrar la grieta y ser flexibles para ajustarse a esta.</p>
<p>Restaurar la sección estructural</p>	 <p>El diagrama muestra una sección de concreto existente con una zona dañada que se está restaurando con un mortero o masilla. Una tubería de inyección se muestra penetrando en la zona restaurada.</p>	<p>Remover las partes dañadas y restaurar la dimensión de la estructura. Los materiales aplicados a la losa deben de tener resistencia adhesiva al concreto original y no pueden oxigenar el acero de refuerzo en el concreto.</p>
<p>Cubierta de la Superficie de Concreto</p> <ul style="list-style-type: none"> -Cubrir la Superficie 	 <p>El diagrama muestra una sección de concreto existente que se cubre con una capa de protección. La cubierta se compone de tres capas: una capa base, una capa intermedia y una capa en la superficie.</p>	<p>Cubrir la superficie del concreto para prevenir que el agua, la sal o dióxido de carbono se filtre. Los materiales de esta cubierta deben de tener esta cualidad resistente al agua y a los factores climáticos.</p>

(2) Método de Refuerzo

La Tabla 7.2.3 muestra los ejemplos principales del método de Refuerzo para la losa de concreto. Algunos de los métodos de Refuerzo incrementan el peso de la losa, el método se debe de seleccionar tomando en consideración los efectos de la influencia a la superestructura y la subestructura.

Tabla 7.2.3. Métodos de Refuerzo para la losa

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

2) Método de Diseño para Refuerzo de Losa

(1) Metodología del Diseño de la Losa reforzada al incrementar el espesor de la losa

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

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

A. Programa del Diseño para incrementar el espesor de la losa

En la Figura 7.2.1 se muestra el Programa del Diseño para la losa que consiste en el Refuerzo con el método de incremento del espesor de la losa. El esfuerzo del acero de refuerzo en la losa original, la cual está compuesta del esfuerzo que se da por la carga muerta y la carga viva debe de ser menor al esfuerzo permitido.

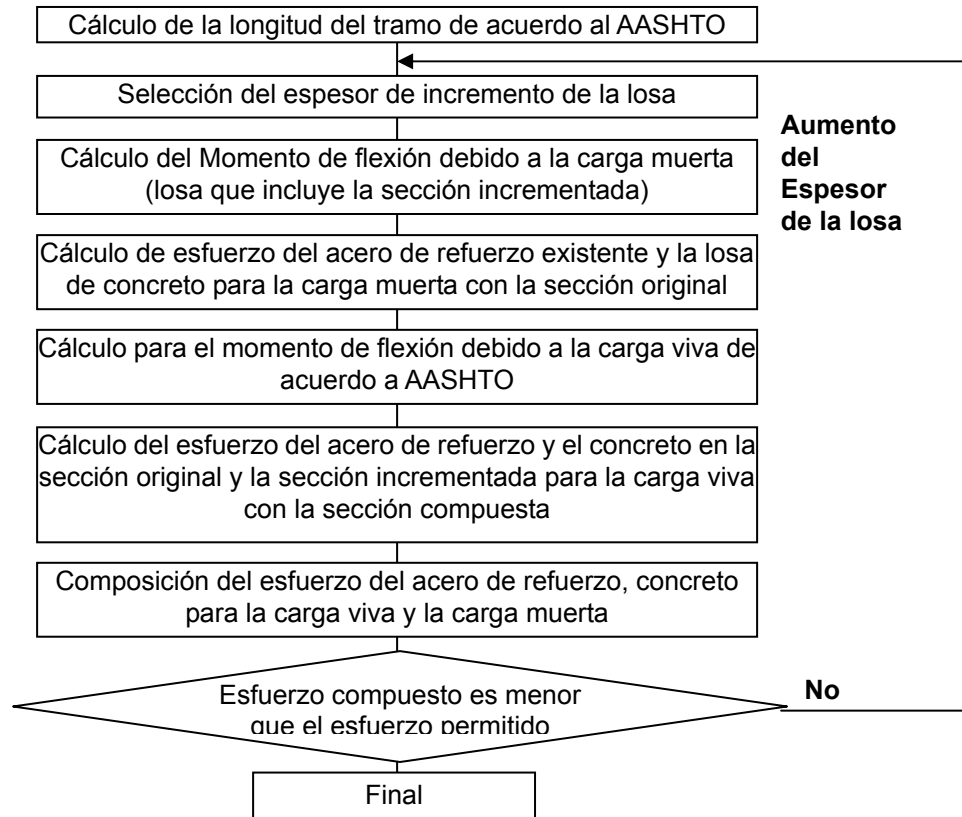


Figura 7.2.1. Programa del Diseño para incrementar el espesor de la losa

B. Método de Verificación del esfuerzo para incrementar el espesor de la losa

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

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

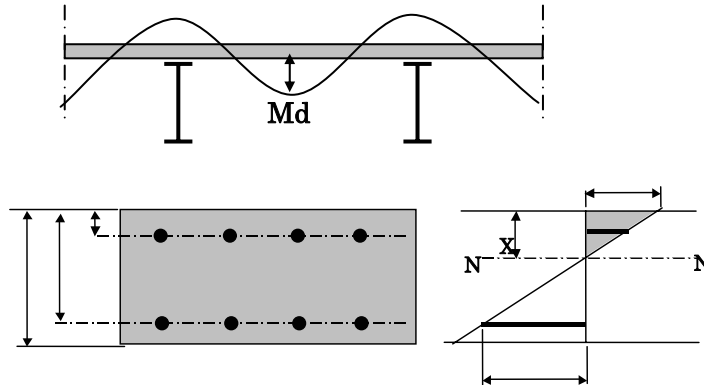


Figura 7.2.2. Momento y Esfuerzo debido a la carga muerta

S_{cd} : esfuerzo del concreto debido a la carga muerta

S_{sd} : esfuerzo del acero de refuerzo debido a la carga muerta

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

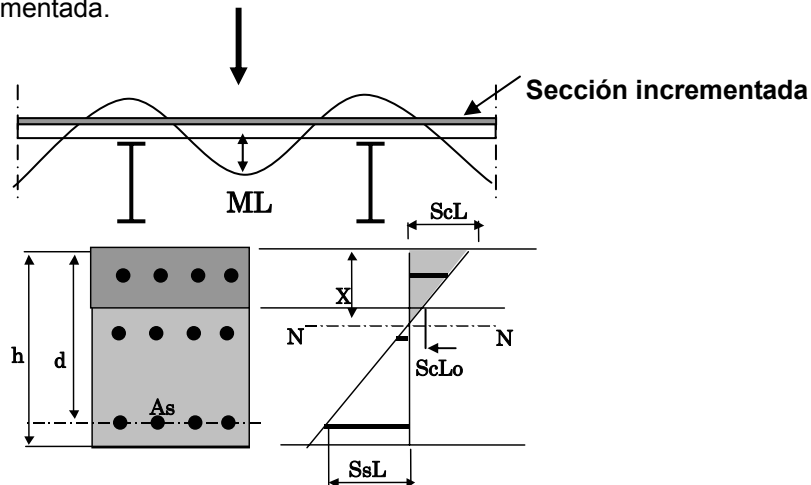


Figura 7.2.3. Momento y esfuerzo debido a la carga viva

S_{cL} : Esfuerzo del concreto en la nueva superficie debido a la carga viva

S_{cLo} : Esfuerzo del concreto en la superficie original debido a la carga viva

S_{sL} : Esfuerzo del acero de refuerzo debido a la carga viva

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

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

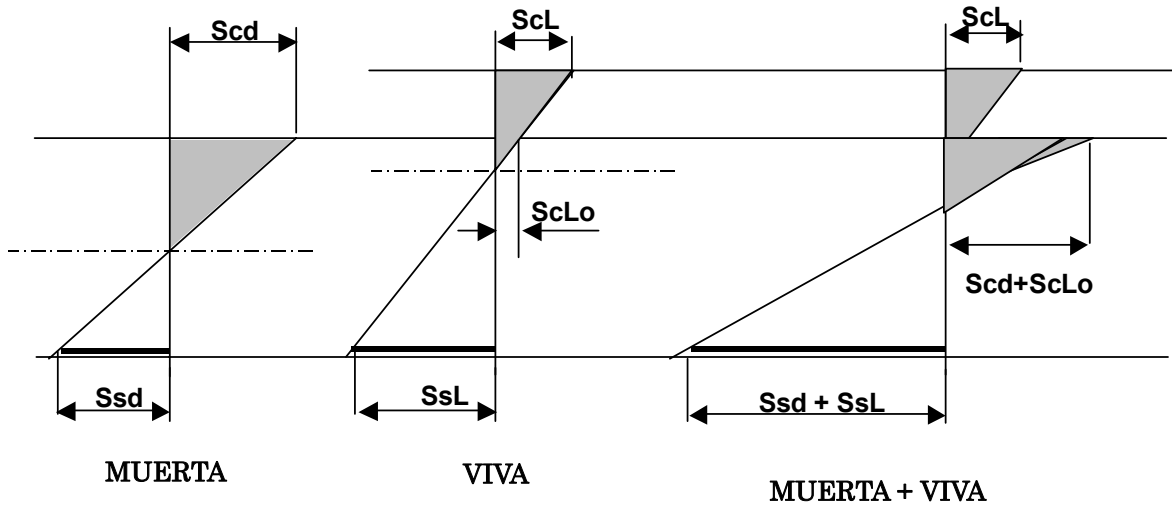


Figura 7.2.4. Esfuerzo debido a la carga viva y a la carga muerta

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

(2) Metodología del Diseño para la losa reforzada con Lámina FRP

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

Muchos tipos de materiales de láminas de fibra de carbono se producen para el módulo de resistencia y el módulo elástico. En la Tabla 7.2.4 se muestran las características de la lámina de fibra de carbono típica.

Tabla 7.2.4. Características de la Hoja de Fibra de Carbono Típica

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

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

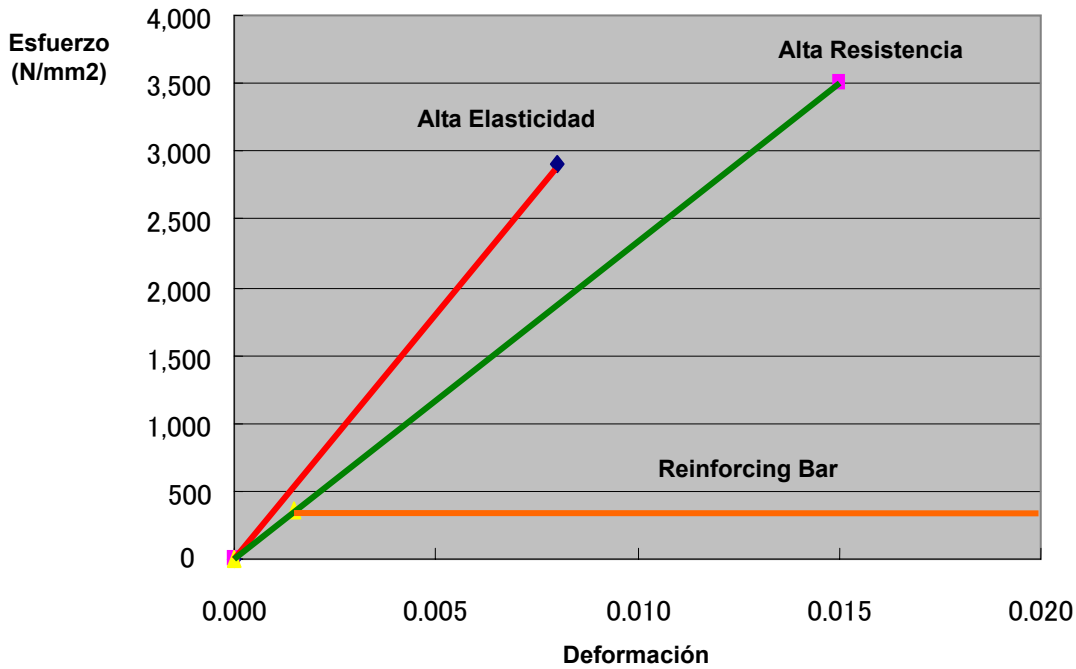


Figura 7.2.5. Curva de Esfuerzo/ Deformación

A. Programa del Diseño para la Adherencia del FRP

El Programa del Diseño para los miembros que serían reforzados con la adherencia del FRP se muestra en la Figura 7.2.6.

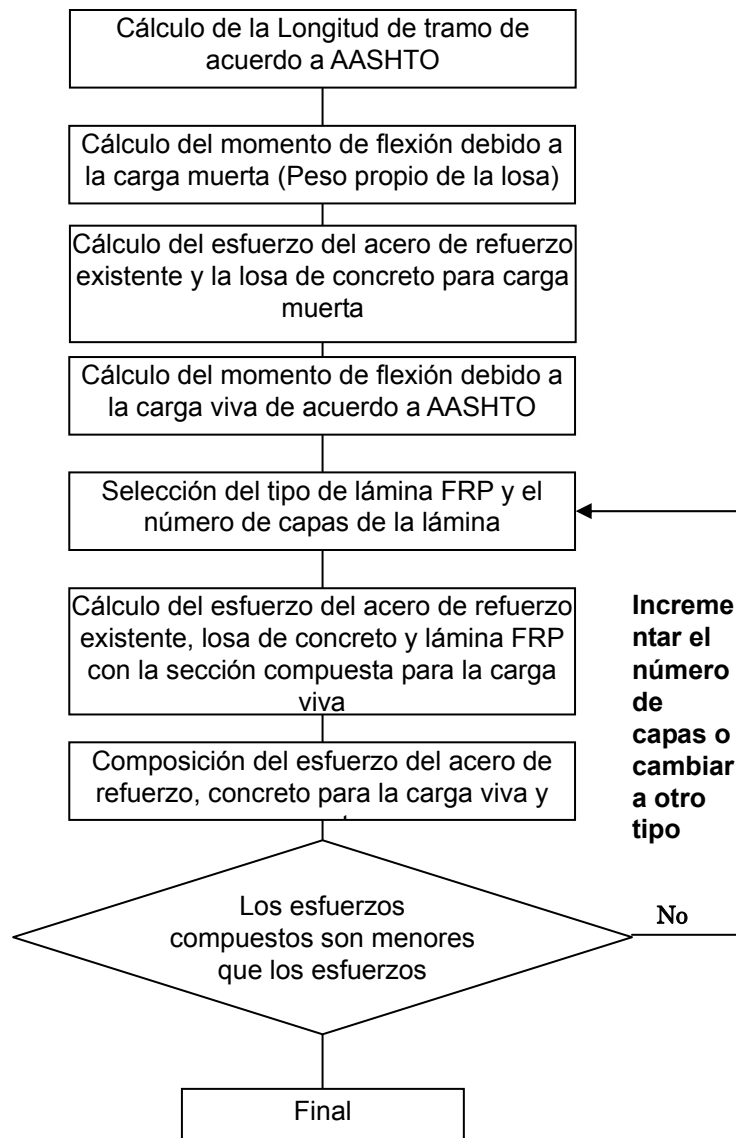


Figura 7.2.6. Programa del Diseño para la losa de la adherencia FRP

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

B. Método de Verificación de esfuerzo para la adherencia de FRP

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

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

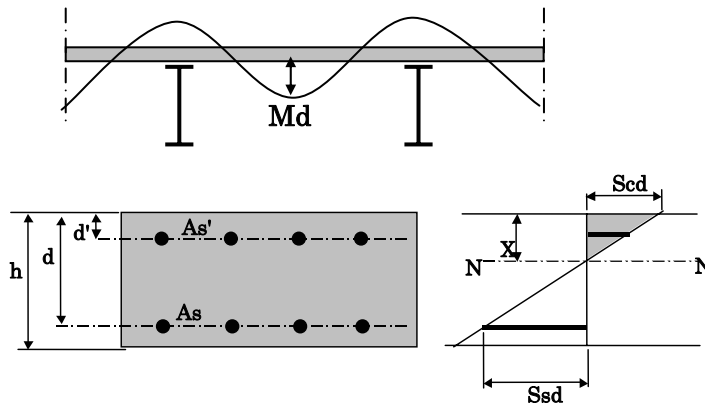


Figura 7.2.7. Momento y esfuerzo debido a la carga muerta

Esfuerzo del concreto debido a la carga muerta $Scd: = Md \times X / I$
 Esfuerzo del acero de refuerzo debido a la carga muerta $Ssd: = Md \times n (d-X) /$

Donde,

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

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

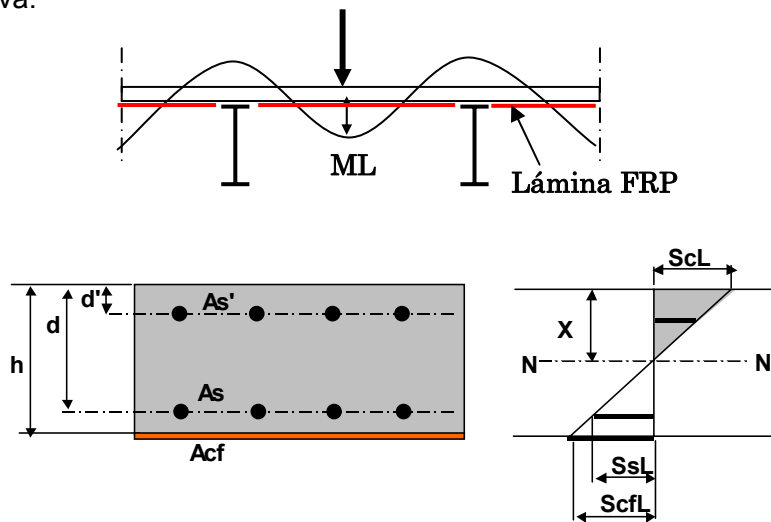


Figura 7.2.8. Momento y esfuerzo debido a la carga viva

Esfuerzo del concreto debido a la carga viva	$ScL = ML \times X / Ip$
Esfuerzo del acero de refuerzo debido a la carga viva	$SsL = ML \times n (d - X) / Ip$
Esfuerzo de FRP debido a la carga viva	$ScfL = ML \times nsp (h - X) / Ip$

Donde,

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

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

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

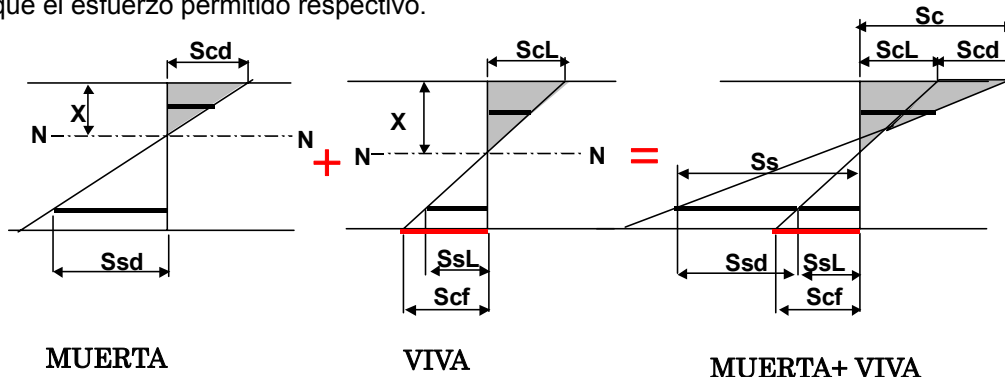


Figura 7.2.9. Esfuerzo debido a la Carga muerta y la carga viva

Esfuerzo del concreto debido a la carga muerta + carga viva	$Sc = Scd + ScL < Sca$
Esfuerzo del acero de refuerzo debido a la carga muerta + carga viva	$Ss = Ssd + SsL < Ssa$
Esfuerzo del FRP debido a la carga muerta + carga viva	$Scf = ScfL < Scfa$

Donde,

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

(3) Metodología para diseño del Refuerzo de la Losa por medio de Adherencia de Placas de Acero

La metodología de diseño para el refuerzo de la losa por medio de adherencia de placas de acero se hace para reducir el esfuerzo del acero de refuerzo dentro de la losa existente por medio de la distribución de esfuerzos de las placas de acero adheridas así como también en el método de adherencia de láminas de FRP. Las placas de acero pueden resistir solo fuerzas ocasionadas por carga viva y la carga muerta después de la adherencia. La fuerza ocasionada por la carga muerta anterior a la adherencia debe ser resistida por el acero de refuerzo existente.

Como el flujo y método de diseño son similares a los del método de adherencia de láminas de FRP, éstas no se describen aquí.

3) Principio de Aplicación de Medidas Correctivas para la Losa

La selección de la reparación o Refuerzo para la losa dañada depende de la capacidad de carga de la losa existente como se muestra en la Figura 7.2.10. El método de incremento del espesor incrementa el peso de la losa, lo cual no es ninguna ventaja para la superestructura. Sin embargo este método presenta una ventaja para la losa de concreto reforzado, ya que el incremento de la losa se puede tomar como parte del ala de la viga de concreto reforzado y se puede reducir el esfuerzo de la viga principal por carga muerta.

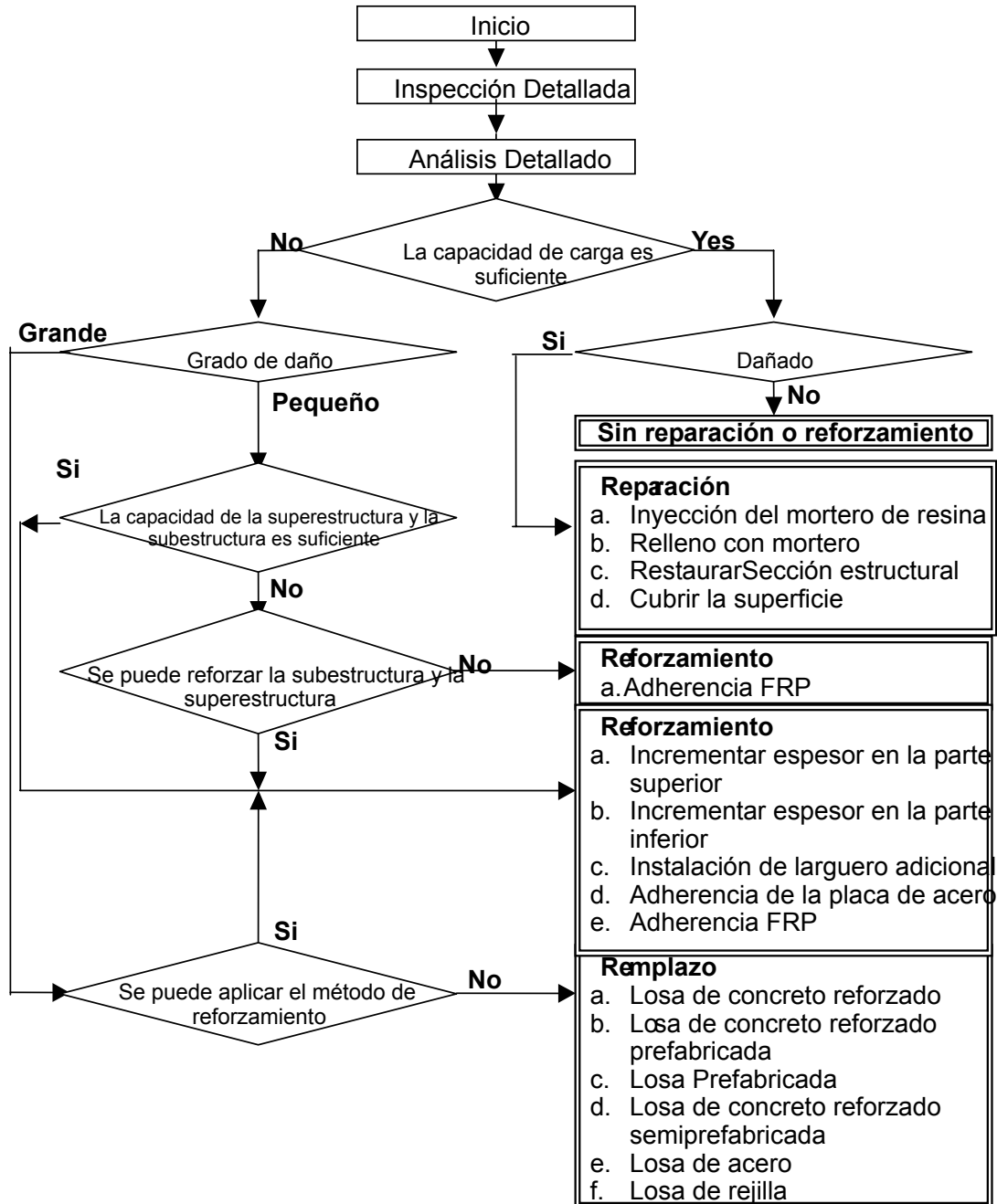


Figura 7.2.10. Selección de Programación para la reparación o refuerzo para la losa

7.2.2 Sistema de Cubierta de Acero

La mayoría de los sistemas de Cubierta fueron diseñados para una carga viva de HS15 y no poseen la capacidad de carga suficiente para los vehículos pesados de la actualidad. Por tanto, el esfuerzo del sistema de Cubierta excede el permitido para la nueva carga viva de diseño HS20 +25%.

1) Clasificación de Medidas de Correctivas

Las medidas correctivas para los sistemas de Cubierta se clasifican por los métodos y propuestas como se muestran en la Tabla 7.2.5.

Tabla 7.2.5. Métodos Correctivos para Sistemas de Cubierta de Acero

Propuesta	Medida Correctiva	Método
Reparo o Rehabilitación	Restaurar la Sección Estructural	Restaurar la Sección Estructural
	Recubrir Superficie de Acero	Repello de Superficie
Reinforcement	Reforzar con material Adicional	Incrementar Dimensión o Material Adicional
	Reconstruir el sistema estructural	Cambiar vigas sencillas en compuestas

(1) Método de Reparación para Sistemas de Cubierta de Acero

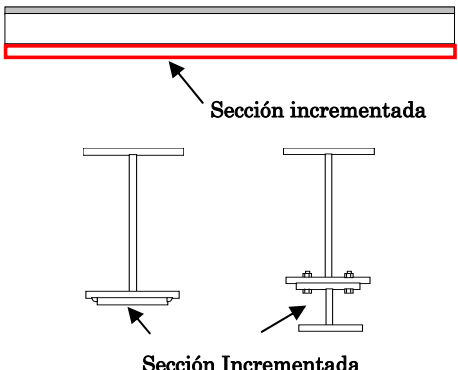
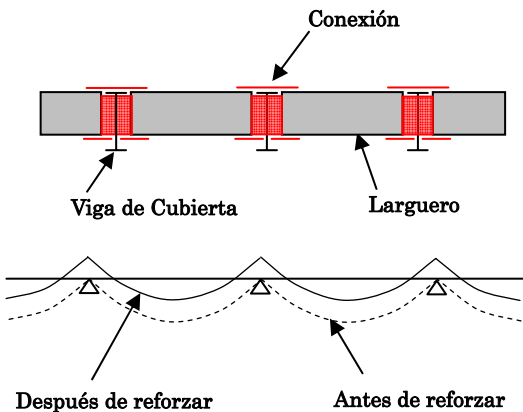
Todos los principios de Métodos de Reparación de sistemas de Cubierta de acero son iguales a las vigas I de acero. Estos métodos señalan los diafragmas, largueros y sus juntas. Primeramente, se restaura la sección o se da una recubierta chequeando si esto es suficiente como método de correctivo.

(2) Método de Refuerzo para Sistemas de Cubierta de Acero

No se supone como suficiente el caso de método de reparación, se debe continuar con un método de rehabilitación. La Tabla 7.2.6. muestra los principales ejemplos de métodos de rehabilitación para sistemas de Cubierta de acero.

El refuerzo de algunos elementos secundarios como los diafragmas o largueros no tienen una influencia crítica en la subestructura, pero se requiere de otra consideración especial para la introducción de nuevas juntas, no deben interferir con miembros o materiales existentes.

Tabla 7.2.6. Método de Refuerzo para el Sistema de Cubiertas

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

2) Método de Diseño de Refuerzo para Sistemas de Cubierta de Acero

(1) Metodología de Diseño para Refuerzo de Sistemas de Cubierta de ACero por medio del Incremento de la Dimension

A. Flujo de Diseño para Método de Incremento de Dimensión

El flujo de diseño para sistemas de Cubierta de acero, el cual es un refuerzo mediante el metodo del incremento de las dimensiones, es como se muestra en la Figura 7.2.11 La metodología básica del diseño de refuerzo es que el esfuerzo a tension es resistido por el acero existente dentro del area de tension de la viga y la sección incrementada.

El esfuerzo de la sección original de viga, el cual esta compuesto del esfuerzo ocasionado por carga viva y muerta, debe ser menor al permisible. Se requiere de un análisis estructural para calcular la fuerza actuante para la sección original, porque el incremento de la seccion es muy pequeño y ligero en comparación con los miembros existentes en la losa.

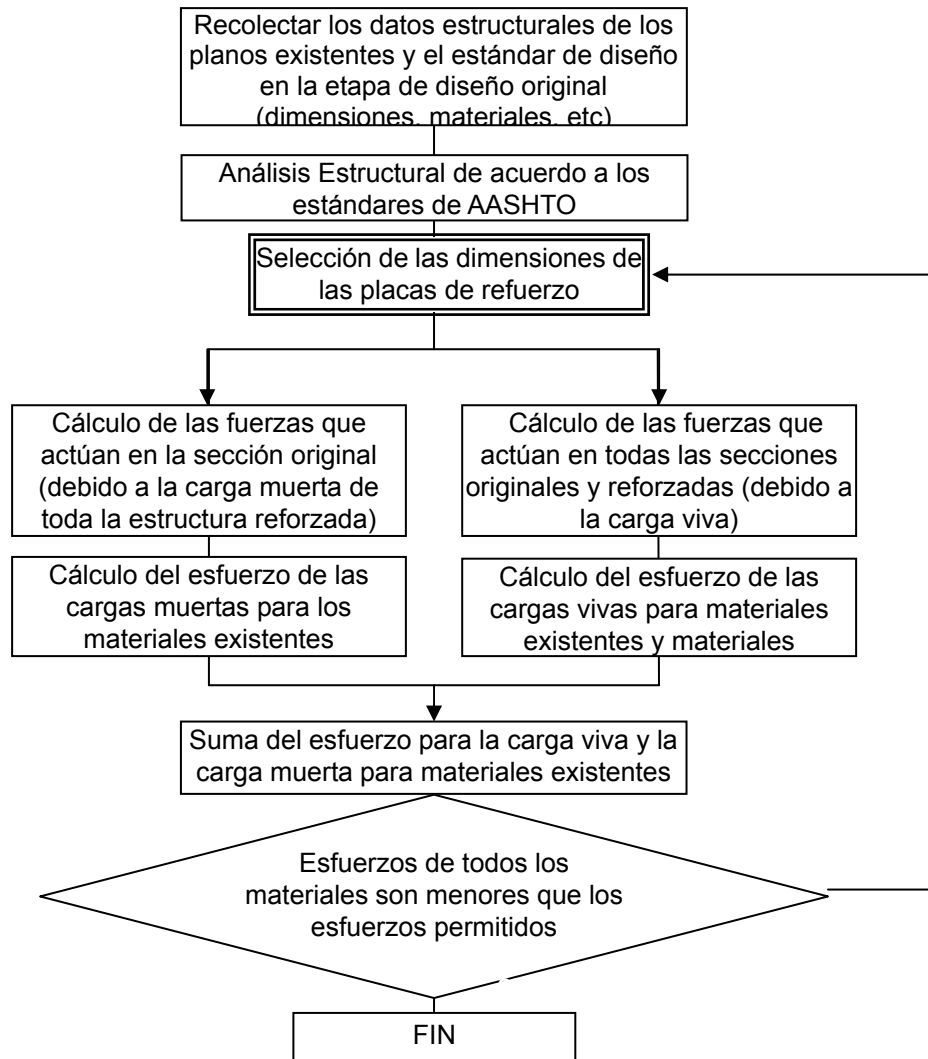


Figura 7.2.11. Programa del Diseño para el diafragma por el incremento de la sección del miembro.

B. Método de Verificación de esfuerzo para incrementar la sección del miembro

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

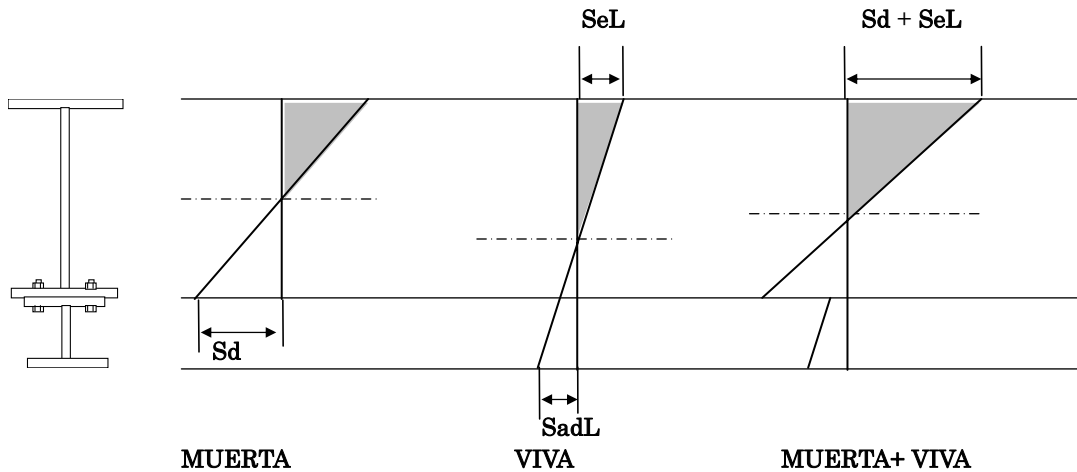


Figura 7.2.12. Esfuerzo producido por la carga muerta y la carga viva

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

$$S = S_d + SeL < Se-a$$

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

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

Donde,

S_d : Esfuerzo de flexión por las cargas muertas

SeL, S_{adL} : Esfuerzo de flexión por las cargas vivas

$Se-a$: Esfuerzo permitido del miembro existente

S_{ad-a} : Esfuerzo permitido del la viga tipo H adicional

En el caso en el que se introduzcan placas de cubierta con pernos de refuerzo, el procedimiento es el mismo.

Metodología de Diseño para Sistemas de Cubierta de Acero por medio de la Reconstrucción de un nuevo sistema estructural

A. Flujo de Diseño para el Método por medio del reemplazo de largueros

Cuando se necesita reconstruir, los largueros se sustituyen, son fijados a las vigas de diafragma. Como se muestra en la figura siguiente, el sistema estructural como el de vigas múltiples o simples se cambia en uno de vigas continuas. Ahora se tiene la reconstrucción, se debe desarrollar el análisis estático para este nuevo marco se debe mejorar

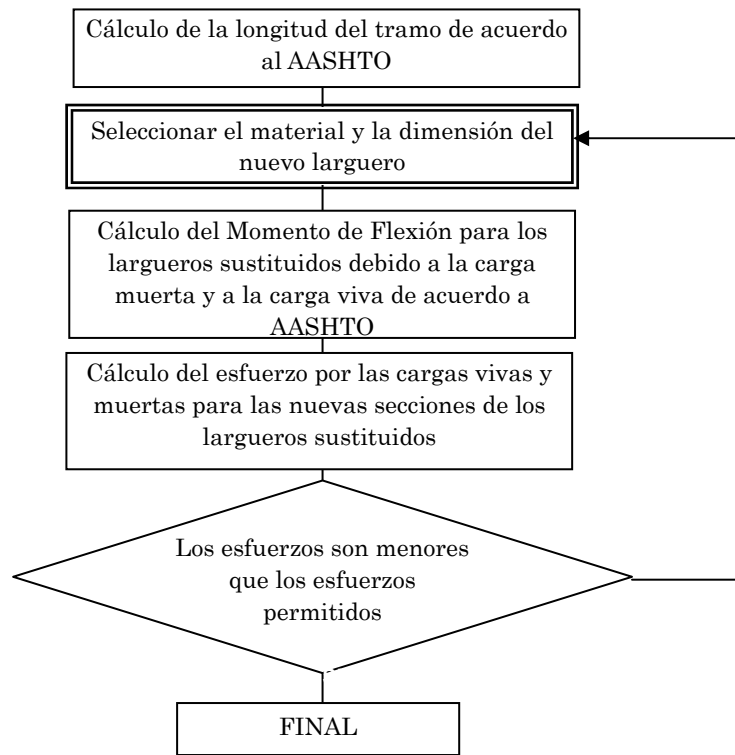


Figura 7.2.13. Programa del Diseño para el Larguero usando el método de cambiar de viga simple a viga continúa.

B. Método de Verificación para Cambiar de Viga Simple a Viga Continua

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

C. Verificar el esfuerzo para los nuevos miembros añadidos

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

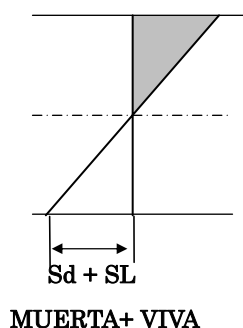


Figura 7.2.14. Esfuerzo debido a la carga muerta y a la carga viva

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

$$S = S_d + S_L < S_a$$

Donde, S_d : Esfuerzo de flexión debido a la carga muerta
 S_L : Esfuerzo de flexión debido a la carga viva
 S_a : Esfuerzo permitido del miembro existente

3) Principios de Aplicación de Medidas Correctivas para el Sistema de Cubierta de Acero

La selección del método correctivo para sistemas de cubiertas de acero se muestra en la Figura 7.2.15.

Si el puente tiene la suficiente capacidad de carga, se requiere sólo la reparación del daño. El método de refuerzo se selecciona en base a los efectos en la sección original. El costo también es un ítem importante, por lo tanto, el método de reconstrucción se elige como método último.

Este diagrama es una selección simplificada aún cuando el método de refuerzo es seleccionado. Es necesario un juicio comparado sintéticamente con el efecto del refuerzo basado en el análisis estructural, influencia de subestructura, situación del sitio y costo

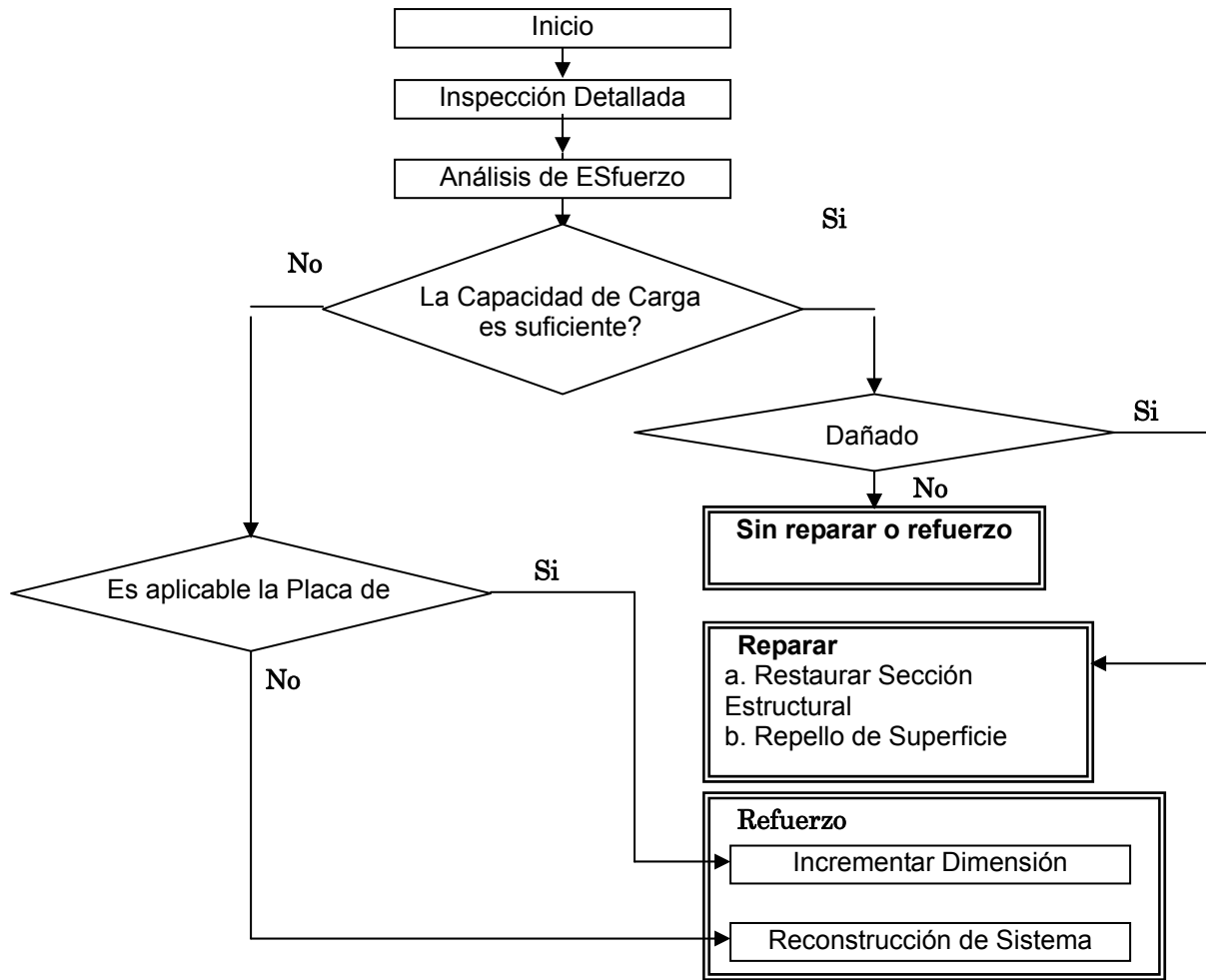


Figura 7.2.15. Programa de Selección para Reparación o Refuerzo del Sistema de Cubierta de Acero

7.2.3 Losa de Concreto Reforzado

Los puentes de losas de concreto reforzado son los tipos de puente mas comunes, y el más económico para puentes de tramos cortos. La mayoría de puentes de RC fueron construidos hace mucho tiempo, y fueron diseñados para cargas vivas pequeñas. Por lo tanto, la mayoría de los puentes no tienen la suficiente capacidad de carga y algunos daños como grietas o descascaramiento se observaron en las vigas.

1) Clasificación de medidas de remedio

Varios tipos de metodos se combinan y aplican para el refuerzo y reparación en losas de RC de acuerdo al grado de daño. La Tabla 7.2.7 muestra la clasificación, propuestas y métodos de medidas correctivas para losas de puentes de RC.

Tabla 7.2.7. Métodos de Remedio para puentes de Losa de RC

Propuesta	Medida Correctiva	Métodos
Reparar o Rehabilitación	Reparar Grieta	Inyección de Resina Llenar con Resina
	Restaurar Sección Estructural	Restaurar Sección Estructural
	Recubrir Superficie de Concreto	Recubrir Superficie
Reinforcement	Incrementar Dimension	Incrementar Peralte de la Viga
	Reforzar por medio de Metarial Adicional	Adherir placa de Acero Adherir FRP (Fibra de Carbón, otro)
	Introducir Pre-Esfuerzo	Adicionar Cable Externo

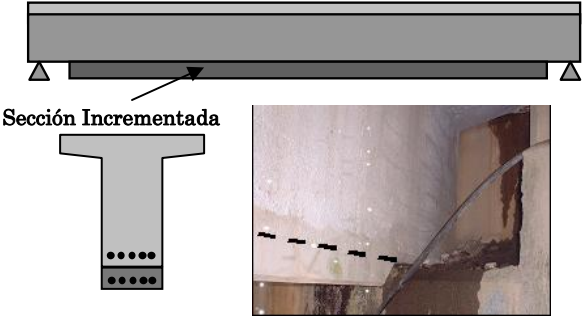
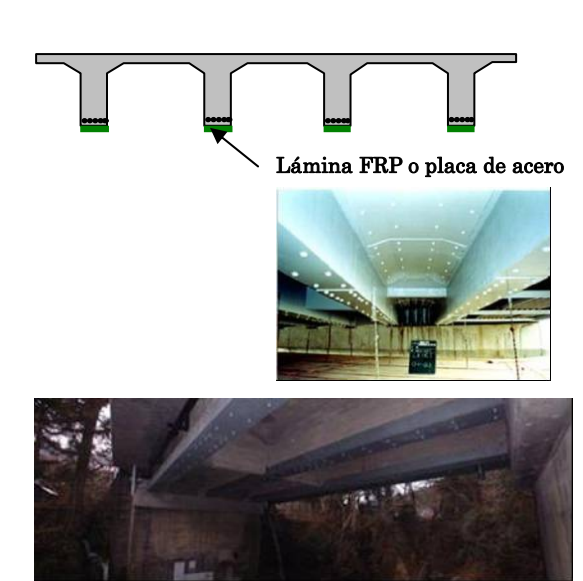
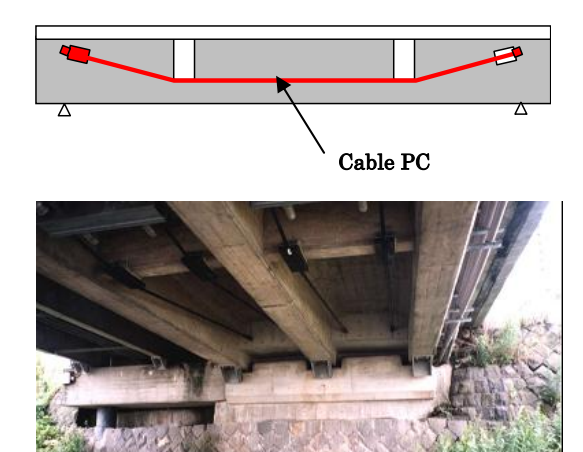
(1) Método de Reparación para losa de RC

El método de reparación de la losa de RC es igual a los de los daños en la losa de concreto descrita en 7.2.1. Esos trabajos de reparación son requeridos para el refuerzo donde se han observado daños.

(2) Método de Refuerzo para Losa de RC

La Tabla 7.2.8 muestra los principales ejemplos de métodos de refuerzo de losas de RC. Como algunos métodos de refuerzo esta el incremento del perlate de la viga, el método debe ser seleccionado tomando en cuenta los efectos de la influencia de la subestructura

Tabla 7.2.8. Método de Refuerzo de Losa de Concreto Reforzado

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

2) Método de Diseño de Refuerzo de Losas de Concreto Reforzado

(1) Metodología de Diseño de Refuerzo de Losas de Concreto Reforzado por medio del Incremento del Peralte de la Viga

A. Programa de Diseño por medio del Incremento en el Peralte de la Viga

La Figura 7.2.16 muestra el programa de diseño de refuerzo de de las losas de concreto reforzado por medio del incremento del peralte de la viga. El esfuerzo en el acero de refuerzo en la sección de viga original. El cual esta compuesto por la carga viva y muerta, debe ser menor al esfuerzo permisible. Se requiere de analisis estructural tanto en la sección original como en la incrementada.

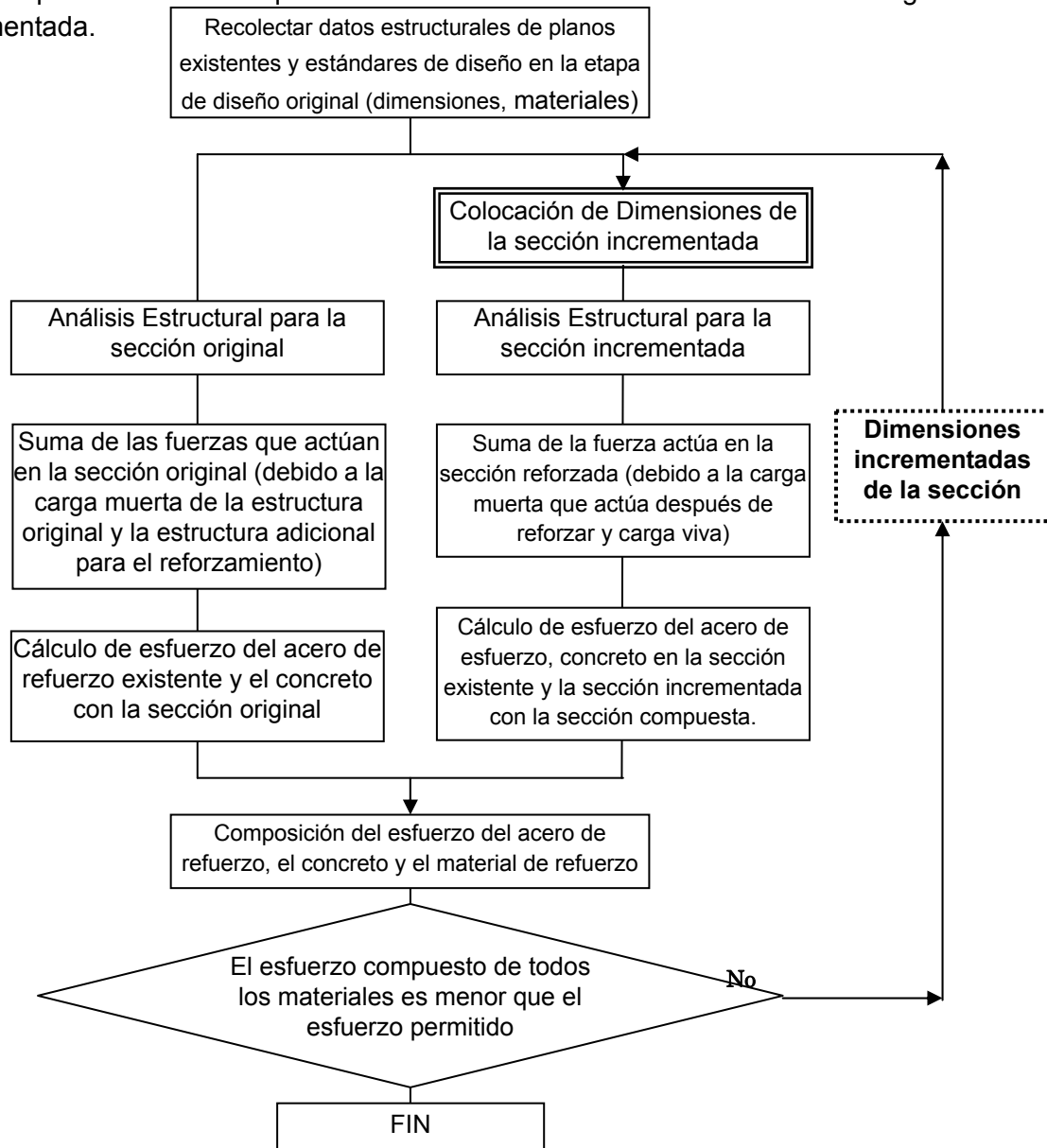


Figura 7.2.16. Programa de diseño para la viga de concreto reforzado al incrementar la sección

B. Método de Chequeo de Esfuerzos para Incremento en Peralte de Viga

El método de chequeo de esfuerzos para incremento en peralte de viga se muestra a continuación. El esfuerzo del acero de refuerzo de la sección original debe ser menor al permitido aun después de la combinación.

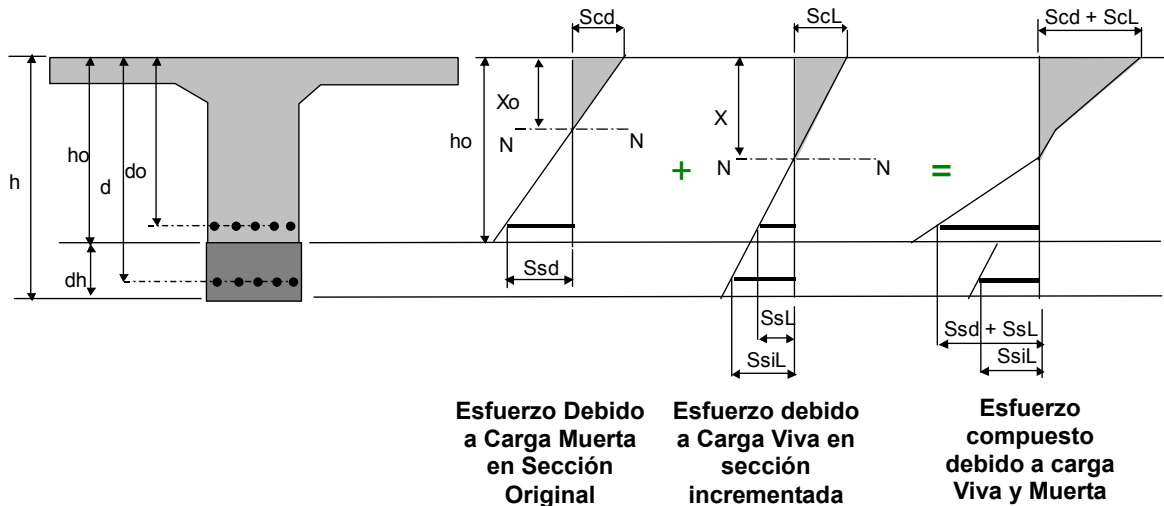


Figura 7.2.17. Esfuerzo en refuerzo de viga de RC con Incremento de Peralte de Viga

1. El Momento Flexionante M_d y el esfuerzo del acero de refuerzo y el concreto para la sección original debido a la carga muerta incluyendo el incremento en la sección.

S_{cd} : Esfuerzo del Concreto debido a Carga Muerta (N/mm^2)

S_{sd} : Esfuerzo del Acero debido al Carga Muerta (N/mm^2)

2. El Momento Flexionante M_L y el esfuerzo del acero de refuerzo y el concreto para la sección incrementada

S_{cL} : Esfuerzo del Concreto en la sección original debido a Carga Viva (N/mm^2)

S_{sL} : Esfuerzo del acero en la sección original debido a Carga Viva (N/mm^2)

S_{siL} : Esfuerzo en el Acero en la sección Incrementada debido a Carga Viva (N/mm^2)

3. Composición de Esfuerzos del refuerzo de acero y concreto debido a carga Viva y Muerta

Esfuerzo del concreto en la superficie del concreto original

$$S_{co} = S_{cd} + S_{cL} < S_{ca} \quad (N/mm^2)$$

Esfuerzo del Acero en sección original

$$S_s = S_{sd} + S_{sL} < S_{sa} \quad (N/mm^2)$$

Esfuerzo del Acero en sección incrementada

$$S_s = S_{siL} < S_{sa} \quad (N/mm^2)$$

Todos los esfuerzos compuestos del concreto y acero de refuerzo deben ser menores al esfuerzo permisible respectivo

(2) Metodología de Diseño de Refuerzo de Losas de Concreto Reforzado por medio de Adherencia de FRP

A. Programa de Diseño por medio del método de adherencia del FRP

La Figura 7.2.18 muestra el programa de diseño de refuerzo de de las losas de concreto reforzado por medio adherencia de FRP. El esfuerzo en el acero de refuerzo en la sección de viga original. El cual esta compuesto por la carga viva y muerta, debe ser menor al esfuerzo permisible. Se requiere de analisis estructural para calcular la fuerza actuante en la sección original, porque la lámina de FRP es muy delgada y ligera en comparación a la sección de viga RC.

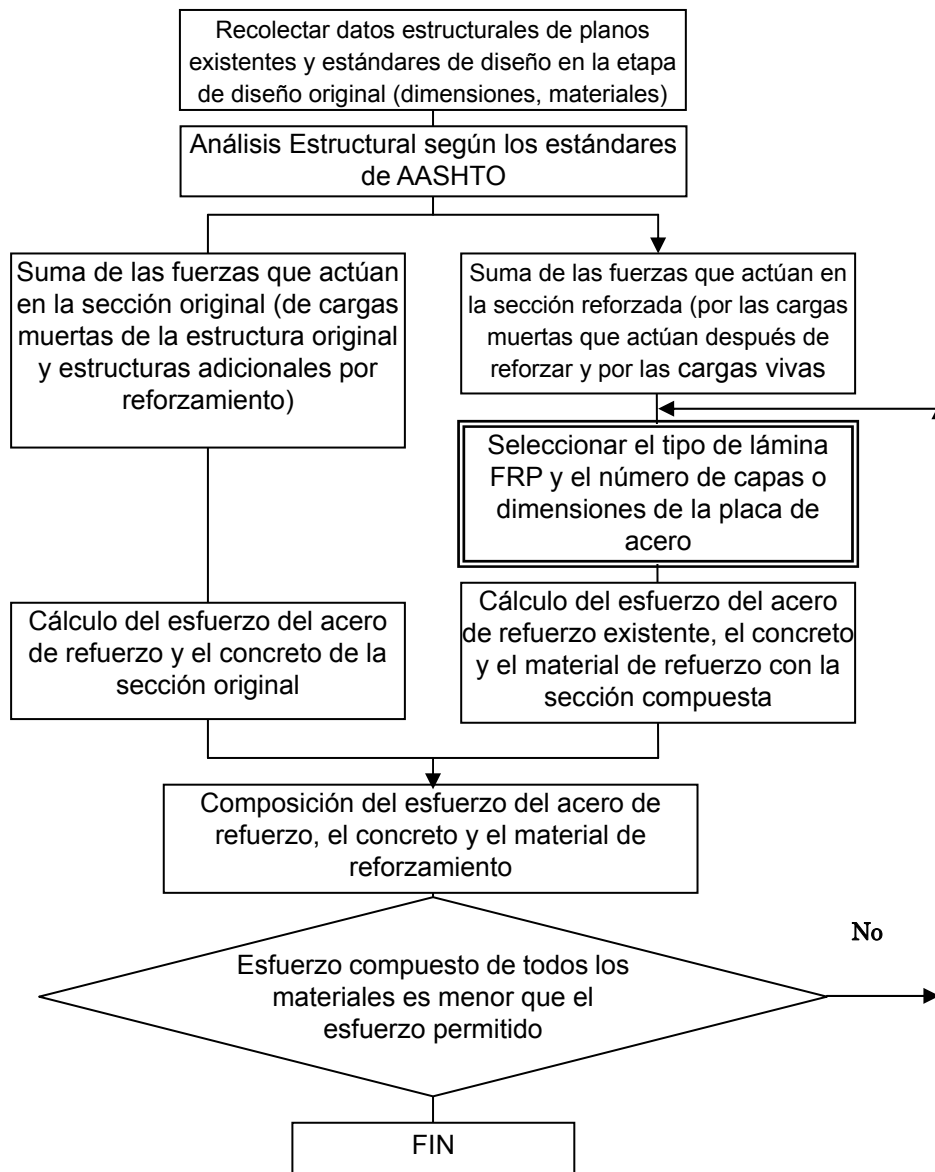


Figura 7.2.18. Programa de Diseño para la viga de concreto reforzado con un Refuerzo de adherencia FRP

B. Método de Chequeo de Esfuerzos para Adherencia de FRP

El método de chequeo de esfuerzos para adherencia de FRP se muestra a continuación. El esfuerzo del acero de refuerzo de la sección original debe ser menor al permitido aun después de la combinación. El número de capas de laminas de fibras requeridas se fijara por el esfuerzo del acero de refuerzo y el estrés de la fibra, es normalmente menor que el permitido

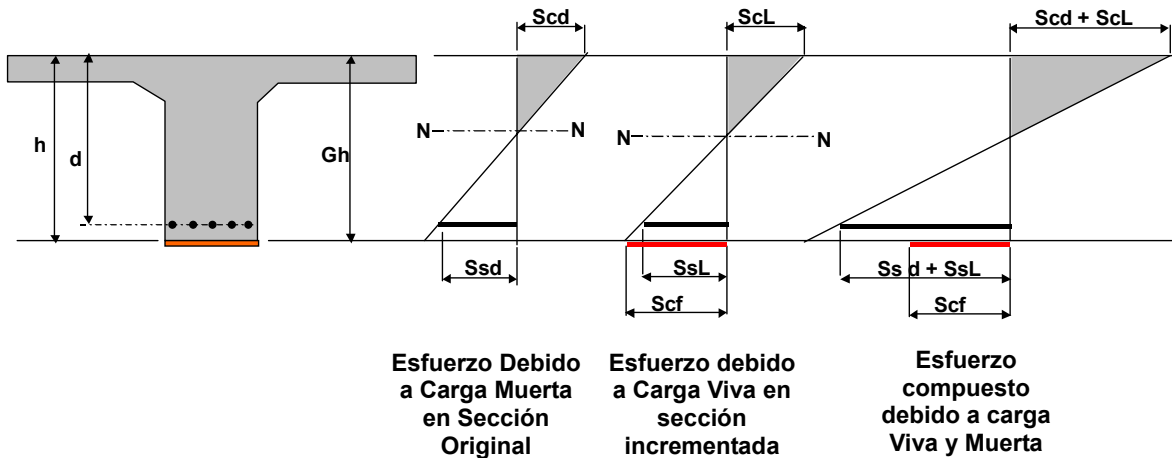


Figura 7.2.19. Esfuerzo en refuerzo de viga de RC con Adherencia de FRP

1. El Momento Flexionante M_d y el esfuerzo del acero de refuerzo y el concreto para la sección original debido a la carga muerta incluyendo el incremento en la sección.

Sc_d : Esfuerzo del Concreto debido a Carga Muerta (N/mm^2)

Ss_d : SEsfuerzo del Acero debido al Carga Muerta (N/mm^2)

2. El Momento Flexionante M_L y el esfuerzo del acero de refuerzo y el concreto para la sección incrementada

Sc_L :Esfuerzo del Concreto en la sección original debido a Carga Viva (N/mm^2)

Ss_L :Esfuerzo del acero en la sección original debido a Carga Viva (N/mm^2)

Ss_iL :Esfuerzo en el Acero en la sección Incrementada debido a Carga Viva (N/mm^2)

3. Composición de ESfuerzos del refuerzo de acero y concreto debido a carga Viva y Muerta

Esfuerzo del concreto en la superficie del concreto original

$$S_{c0} = Sc_d + Sc_L < S_{ca} \quad (N/mm^2)$$

Esfuerzo del Acero en sección original

$$S_s = Ss_d + Ss_L < S_{sa} \quad (N/mm^2)$$

Esfuerzo del Acero en sección incrementada

$$S_s = Ss_iL < S_{sa} \quad (N/mm^2)$$

Todos los esfuerzos compuestos del concreto y acero de refuerzo deben ser menores al esfuerzo permisible respectivo

(3) Metodología de Diseño de Refuerzo de Losas de Concreto Reforzado por medio de Adherencia de Placas de Acero

A. Programa de Diseño por medio del método de adherencia de placas de acero

La Figura 7.2.20 muestra el programa de diseño de refuerzo de de las losas de concreto reforzado por medio adherencia de placas de acero. El esfuerzo en el acero de refuerzo en la sección de viga original. El cual esta compuesto por la carga viva y muerta, debe ser menor al esfuerzo permisible, al igual que en el método de adherencia de FRP. Se requiere de analisis estructural para calcular la fuerza actuante en la sección original, porque la lamina de FRP es muy delgada y ligera en comparación a la sección de viga RC. Sin embargo, se necesita el análisis de la sección compuesta

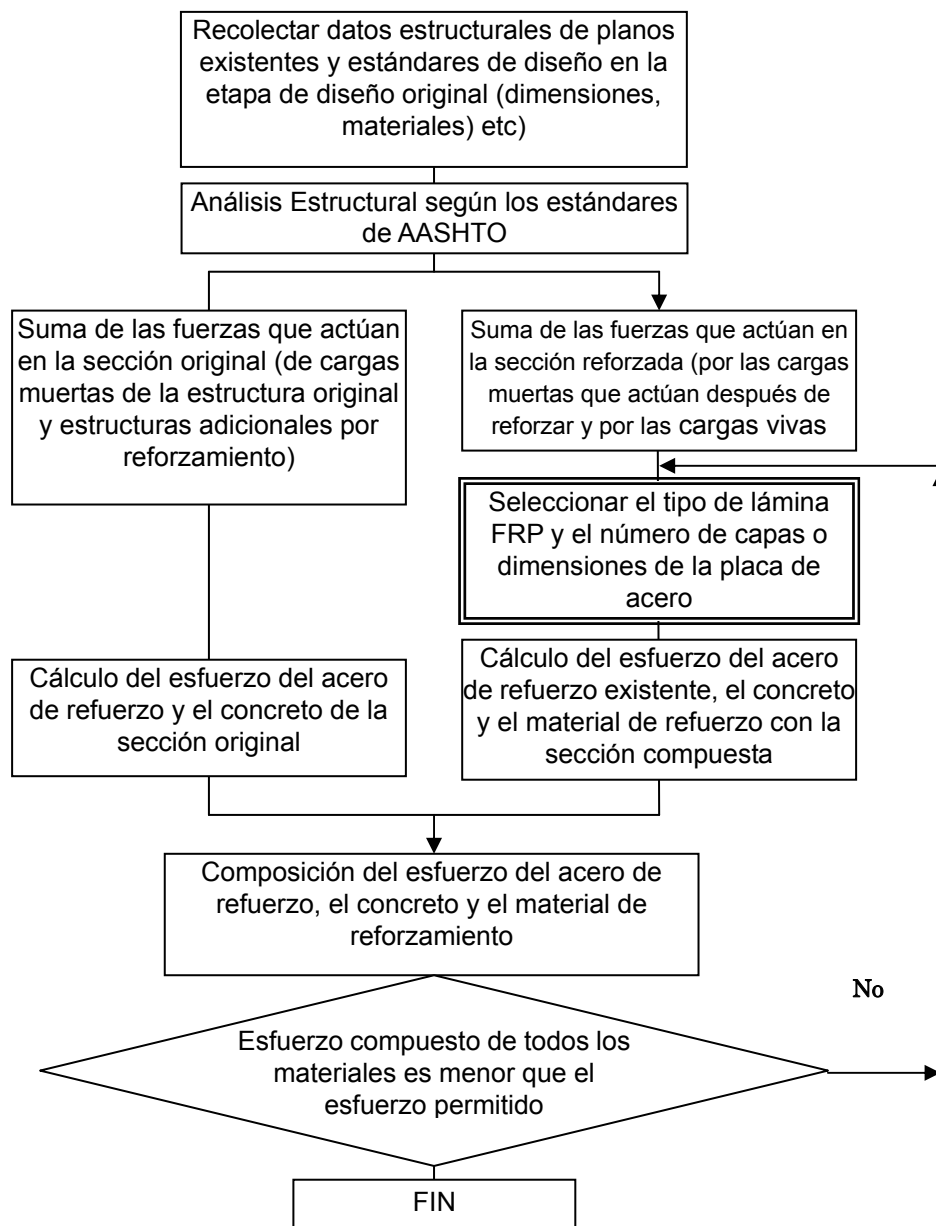


Figura 7.2.20. Programa de Diseño para la viga de concreto reforzado con un Refuerzo de placas de acero

B. Método de Chequeo de Esfuerzos para Adherencia de FRP

El método de chequeo de esfuerzos para adherencia de placas de acero se muestra a continuación. El esfuerzo del acero de refuerzo compuesto de la sección original debe ser menor al permitido aun después de la combinación. El número de capas de placas de acero requeridas se fijara por el esfuerzo del acero de refuerzo y el estrés de la fibra, es normalmente menor que el permitido

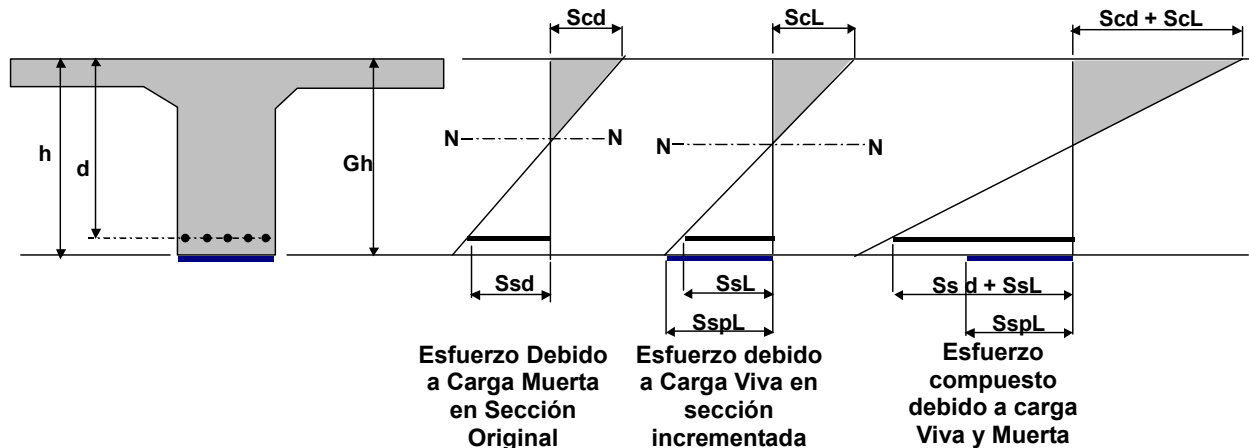


Figura 7.2.21. Esfuerzo de la Viga de Concreto reforzada al Adherir Placa de Acero

2. El Momento Flexionante M_d y el esfuerzo del acero de refuerzo y el concreto para la sección original debido a la carga muerta incluyendo el incremento en la sección.

Scd : Esfuerzo del Concreto debido a Carga Muerta (N/mm^2)

Ssd : Esfuerzo del Acero debido al Carga Muerta (N/mm^2)

2. El Momento Flexionante M_L y el esfuerzo del acero de refuerzo y el concreto para la sección incrementada

ScL : Esfuerzo del Concreto en la sección original debido a Carga Viva (N/mm^2)

SsL : Esfuerzo del acero en la sección original debido a Carga Viva (N/mm^2)

$SsiL$: Esfuerzo en el Acero en la sección Incrementada debido a Carga Viva (N/mm^2)

3. Composición de Esfuerzos del refuerzo de acero y concreto debido a carga Viva y Muerta

Esfuerzo del concreto en la superficie del concreto original

$$S_{co} = Scd + ScL < S_{ca} \quad (N/mm^2)$$

Esfuerzo del Acero en sección original

$$S_s = Ssd + SsL < S_{sa} \quad (N/mm^2)$$

Esfuerzo del Acero en sección incrementada

$$S_s = SsiL < S_{sa} \quad (N/mm^2)$$

Todos los esfuerzos compuesto del concreto y acero de refuerzo deben ser menores al esfuerzo permisible respectivo

(4) Metodología de Diseño de Refuerzo de Losas de Concreto Reforzado por medio de Cable Externo

A. Programa de Diseño por medio del método de Cable Externo

La Figura 7.2.22 muestra el programa de diseño de refuerzo de de las losas de concreto reforzado por medio de Cable externo. El pre-esfuerzo introducido por el cable externos actua como carga muerta en la sección de viga. El esfuerzo del acero de refuerzo en la seccion original de viga debe ser menor al permitido para carga muerta, viva y presfuerzo.

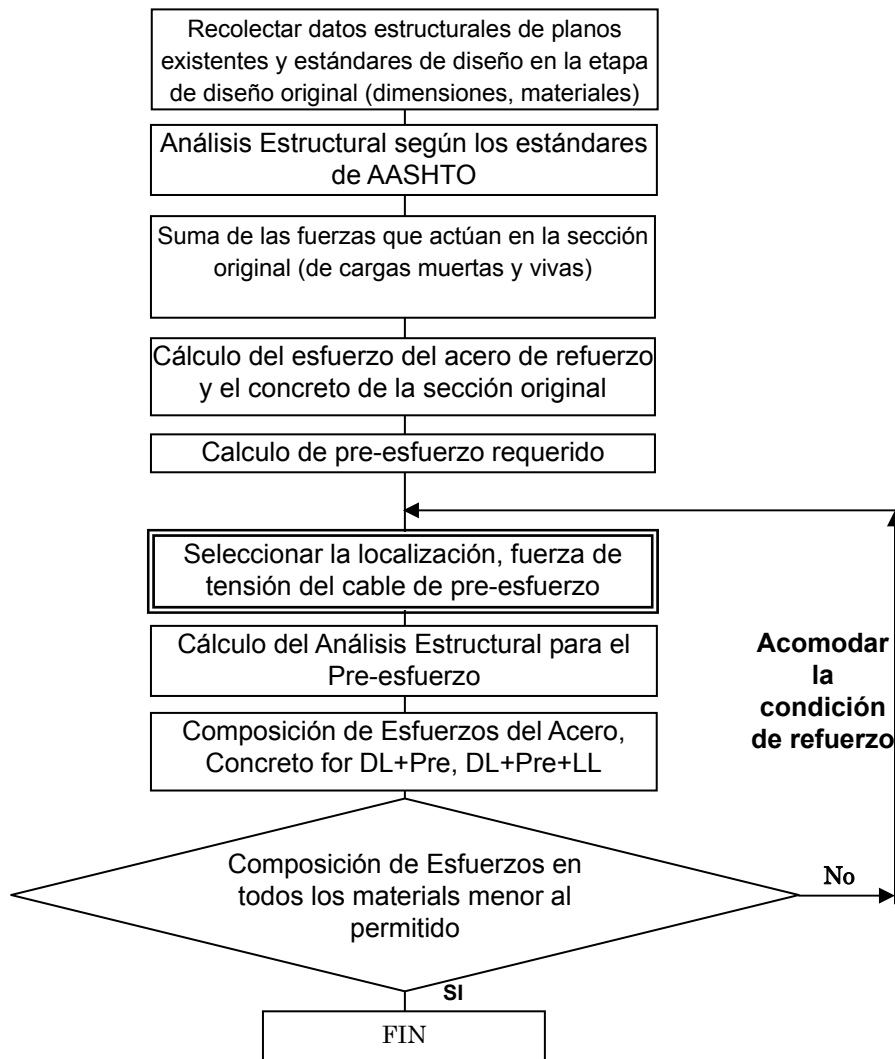


Figura 7.2.22. Programa de Diseño para la viga de concreto reforzado con un Refuerzo por Cable Externo

B. Método de Chequeo de Esfuerzos para Cable Externo

El método de chequeo de esfuerzos para cable externo se muestra a continuación. La composición de esfuerzos del acero y concreto debe ser menor al permitido para ambas (carga muerta + pre-esfuerzo) y (carga muerta + pre-esfuerzo + carga viva). Se debe fijar el área de placa de acero requerida por el esfuerzo del acero de refuerzo y el esfuerzo de la placa es normalmente menor al esfuerzo permisible.

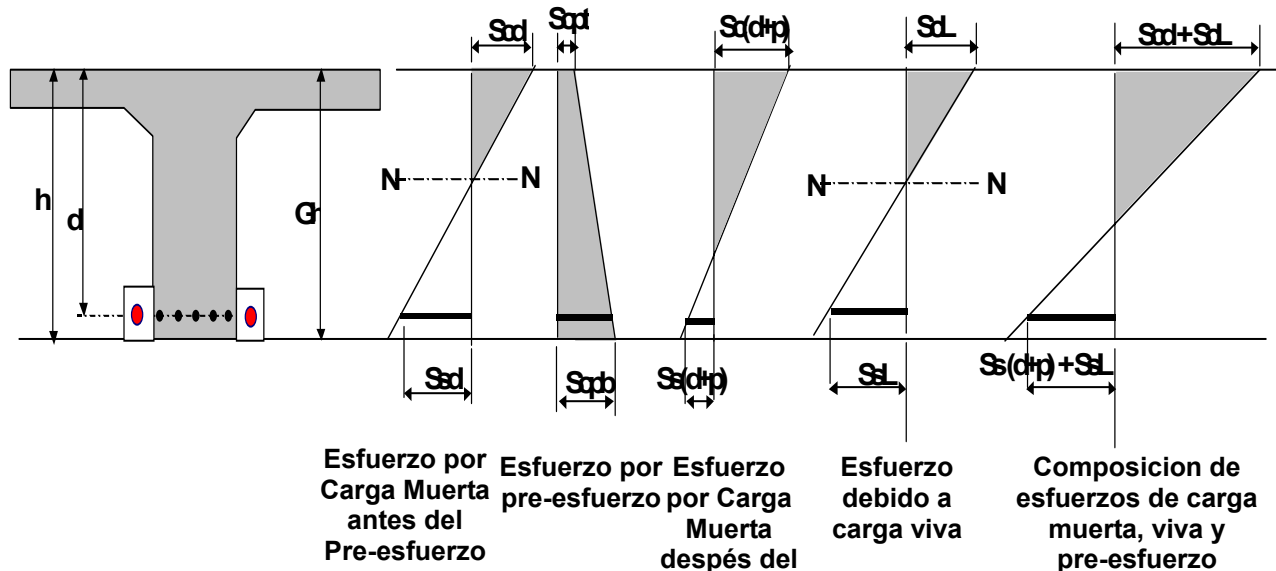


Figura 7.2.23. Esfuerzo de las vigas RC debido a Adición de Cable Externo

1. Esfuerzo en el acero de refuerzo y el concreto para la sección original debido a Carga Muerta
 S_{cd} :Esfuerzo del Concreto debido a Carga Muerta (N/mm^2)
 S_{sd} : Esfuerzo del Acero de Refuerzo debido a Carga Muerta (N/mm^2)
2. Esfuerzo del Concreto debido al presfuerzo
 S_{cpt} : Esfuerzo en la parte alta del concreto debido al pre-esfuerzo (N/mm^2)
 S_{cpb} : Esfuerzo en la parte baja del concreto debido a pre-esfuerzo (N/mm^2)
3. Esfuerzo en el acero de refuerzo y el concreto debido al pre-esfuerzo.
 $S_{c(d;p)}$: Esfuerzo del concreto por Carga Muerta y Pre-esfuerzo (N/mm^2)
 $S_{s(d;p)}$: Esfuerzo del Acero de Refuerzo por Carga Muerta y Pre-esfuerzo (N/mm^2)
4. Esfuerzo del Acero de Refuerz, Concreto y placa de acero adherido a la sección debido a Carga Viva
 S_{cL} : Esfuerzo del concreto debido a Carga Viva (N/mm^2)
 S_{sL} : Esfuerzo del Acero de Refuerzo debido a Carga Viva (N/mm^2)
5. Composición de Esfuerzos del acero de refuerzo, concreto, debido a carga muerta, pre-esfuerzo y carga viva
Esfuerzo en el concreto en la superficie de concreto $S_c = S_{c(d;p)} + S_{cL} < S_{ca} \quad (N/mm^2)$
Esfuerzo en el acero en la sección original $S_s = S_{s(d;p)} + S_{sL} < S_{sa} \quad (N/mm^2)$

Todos los esfuerzos compuestos del concreto y el acero debe ser menor al permitido.

3) Principios de Aplicación de Medidas Correctivas para Losa de RC

La selección del método correctivo para sistemas de cubiertas de acero se muestra en la Figura 7.2.24.

Si el puente tiene la suficiente capacidad de carga, se requiere sólo la reparación del daño. El método de refuerzo se selecciona en base a los efectos en la sección original. El costo también es un ítem importante, por lo tanto, el método de reconstrucción se escoge como método último.

Este diagrama es una selección simplificada aún cuando el método de refuerzo es seleccionado. Es necesario un juicio comparado sintéticamente con el efecto del refuerzo basado en el análisis estructural, influencia de subestructura, situación del sitio y costo

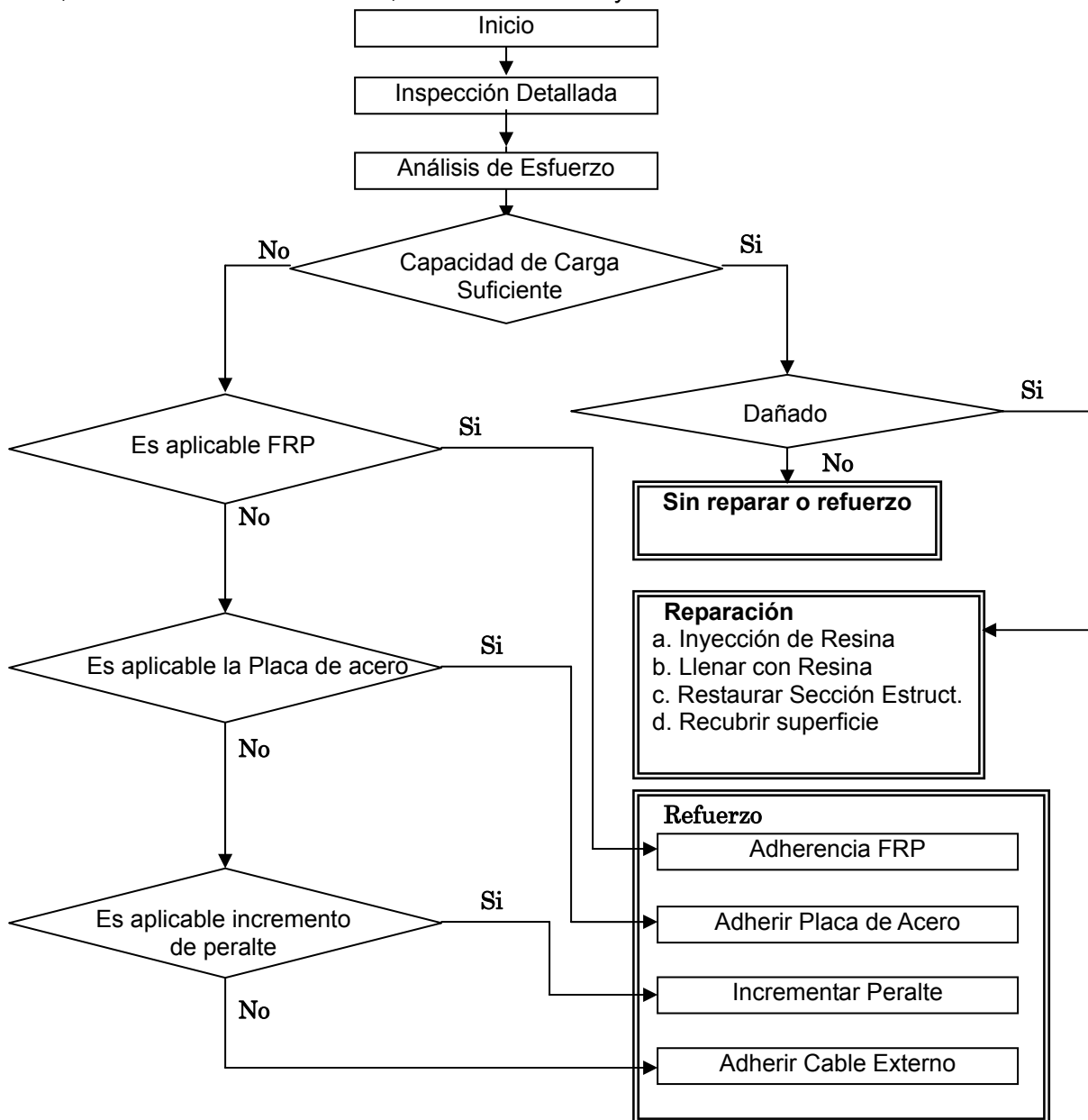


Figura 7.2.24. Programa de Selección para Reparación o Refuerzo del Losa de RC

7.2.4 Puentes de Vigas I Prefabricadas

Los puentes de vigas I PC son un tipo comun de puentes para longitudes medias de tramos. La mayoría de los puentes de vigas I PC son relativamente nuevos comparados con los puentes de RC, no se observaron daños serios. Sin embargo, fueron diseñados, la mayoría, para HS20 de carga viva y no tiene la suficiente capacidad de carga para el peso de los vehiculos pesados de la actualidad. Por tanto, el esfuerzo de la viga principal excede al permitido para el diseño de la carga viva HS20 + 25%

1) Clasificación de las Medidas Correctivas

Varios tipos de métodos son combinados y aplicados para la reparación y el refuerzo de puentes de vigas de I PC de acuerdo al grado de daño o falta de capacidad de carga. Las medidas correctivas para puentes de vigas I PC se clasifican según su proposito y metodo en la Tabla 7.2.9.

Tabla 7.2.9. Métodos Corectivos para Puentes de Vigas I Prefabricadas

Proposito	Medida Correctiva	Método
Reparar O Rehabilitación	Reparar Grieta	Inyección de Resina Llenar con resina
	Restaurar SEcción Estructural	Restaurar Sección Estructural
	Recubrir superficie de concreto	Recubrir Superfice
Refuerzo	Refuerzo con material adicional	Adherir Placa de Acero Adherir FRP (Fibra de Carbon, otr0)
	Introducir Pre-esfuerzo	Adicionar Cable Externo

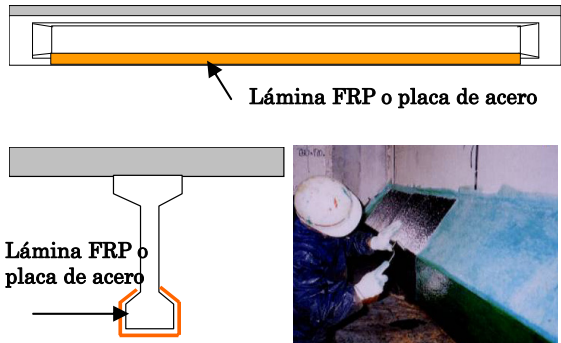
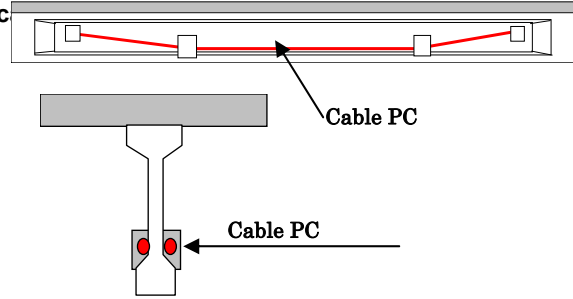
(1) Método de Reparación para puentes de vigas I PC

El método de reparación para puentes de vigas I PC es el mismo a los daños en la losa de concreto estan descrito 7.2.1. Estos trabajos de reparación se requiere para refuerzo donde se observaron varios daños.

(2) Método de Refuerzo para puentes de vigas I PC

La Tabla 7.2.10 muestra los principales ejemplos de métodos de refuerzo para puentes de vigas I PC excepto para incremento de sección. Esta lista de métodos no incremento el peso de la viga, y la influencia en la subestructura es muy baja. Sin embargo, algunos métodos requieren que se hagan huecos para pernos en la viga de OC para colocar el material de refuerzo. Por tanto, es importante chequear la localización de los cables de las vigas de PC.

Tabla 7.2.10. Métodos de Refuerzo para el Punte de Viga tipo I prefabricada

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

2) Método de Diseño de Refuerzo de Vigas I PC

(1) Metodología de Diseño de Refuerzo de Vigas I PC

A. Programa de Diseño de Método de Adherencia de FRP

El programa de diseño de las vigas I PC, la cual es reforzada por el método de láminas de FRP adheridas se muestra en la Figura 7.2.25. La metodología básica del diseño de refuerzo dice que el esfuerzo de tensión debe ser resistido por el refuerzo del acero en el área de tensión de la viga y por láminas de FRP adherida. El esfuerzo de tensión en el concreto no debe ser tomado por el refuerzo.

El esfuerzo de refuerzo en la sección de viga original, el cual esta compuesto por el esfuerzo de carga viva y carga muerta, debe ser menor que el esfuerzo permitido. Se requiere de analisis estructural para calcular la fuerza actuante en la sección original, porque las laminas de FRP son muy delgadas y ligeras en comparación con la sección de vigas de RC.

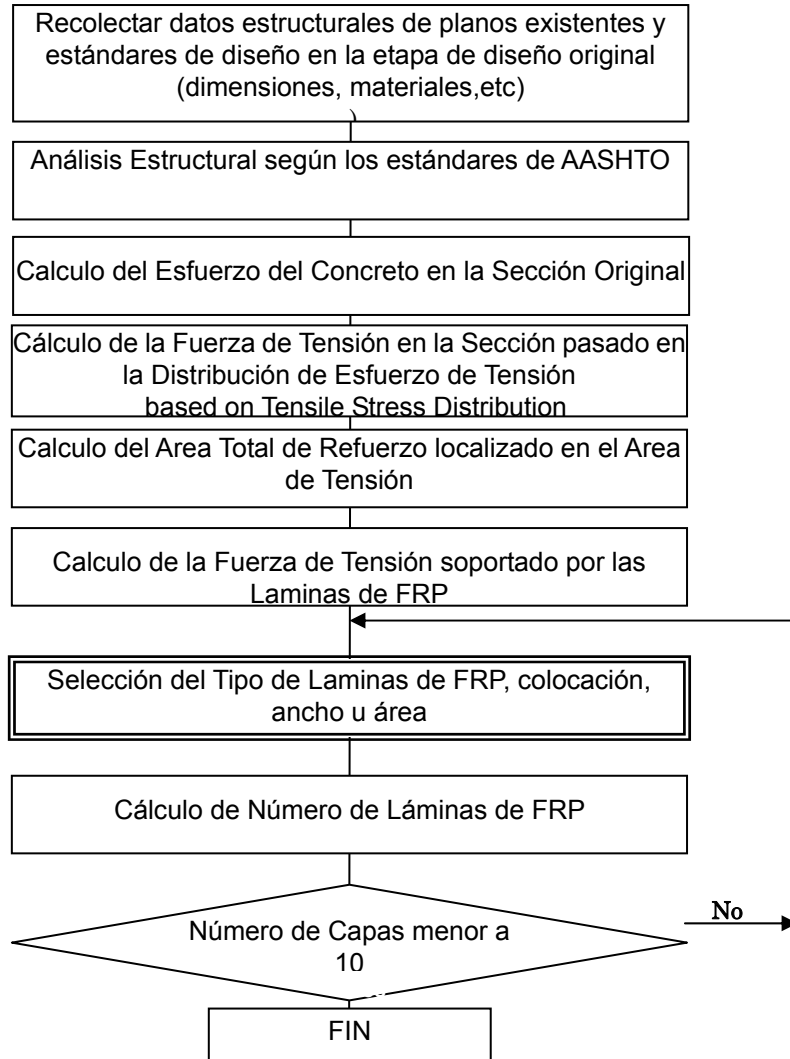


Figura 7.2.25. Programa de Diseño de Método de Adherencia de FRP

B. Método de Verificación del Esfuerzo por Adherencia de

El método de diseño para reforzar la viga tipo I prefabricada con adherencia FRP es la siguiente. El número de capas de laminas FRP deberá ser menor de 10.

1. Se deberá calcular el esfuerzo del concreto de la sección original para todas las cargas incluyendo el preesfuerzo. La fuerza de tensión total T_c de la sección se puede calcular con base en el área de esfuerzo de tensión de la sección.

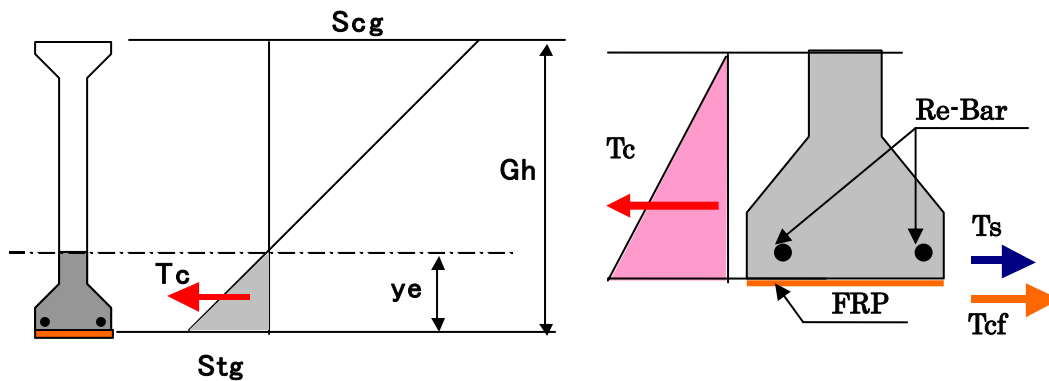


Figura 7.2.26. Imagen del Esfuerzo de Tensión de la viga tipo I prefabricada

2. La fuerza de tensión total T_c que actúa en la sección de concreto resiste debido al acero de refuerzo existente y las láminas adheridas de FRP.

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

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

T_s : Fuerza de Tensión que resiste por el acero de refuerzo existente en el área de tensión

T_{cf} : Fuerza de Tensión que resiste por la adherencia de FRP

S_s : Esfuerzo del acero de refuerzo

S_{cf} : Esfuerzo de FRP

A_s : Área de la sección del acero de refuerzo

A_{cf} : Área de la sección de FRP

E_s : Módulo Elástico del acero de refuerzo

E_{cf} : Módulo Elástico de FRP (kN/mm^2)

3. El esfuerzo del acero de refuerzo deberá de ser menor que el esfuerzo permitido S_{sa} . Por lo tanto el área requerida de la lamina FRP y el número requerido de capas se cálcula de la siguiente manera:

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

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

Donde,

S_{sa} : Esfuerzo permitido del acero de refuerzo

N_{cf} : Número requerido de capas de la lámina de FRP

t_{cf} : Espesor de la lamina FRP que resiste por el acero de refuerzo en el área de tensión

W_{cf} : Ancho de la adherencia de la lamina FRP

(3) Metodología del diseño para el Puente de viga tipo I prefabricada al Adherir Placa de Acero

El programa de diseño y el método de diseño del método de adherencia de la placa de acero

para el puente de viga tipo I prefabricada es similar a aquellos del método de adherencia FRP. Por lo tanto, se omite tal explicación.

(4) Metodología de Diseño para el Puente de viga tipo I prefabricada al añadir un cable adicional.

A. Programa del Diseño para el Método de Añadir un cable externo

El programa de diseño para el Puente de viga tipo I prefabricada, el cual se refuerza por el método de añadir el cable externo se muestra en la Figura 7.2.27. El preesfuerzo del cable externo actúa como carga muerta en la sección de la viga. El esfuerzo del concreto de la sección de la viga original deberá de ser menor que el esfuerzo permitido para la carga muerta, la carga viva y el preesfuerzo incluyendo el adicional.

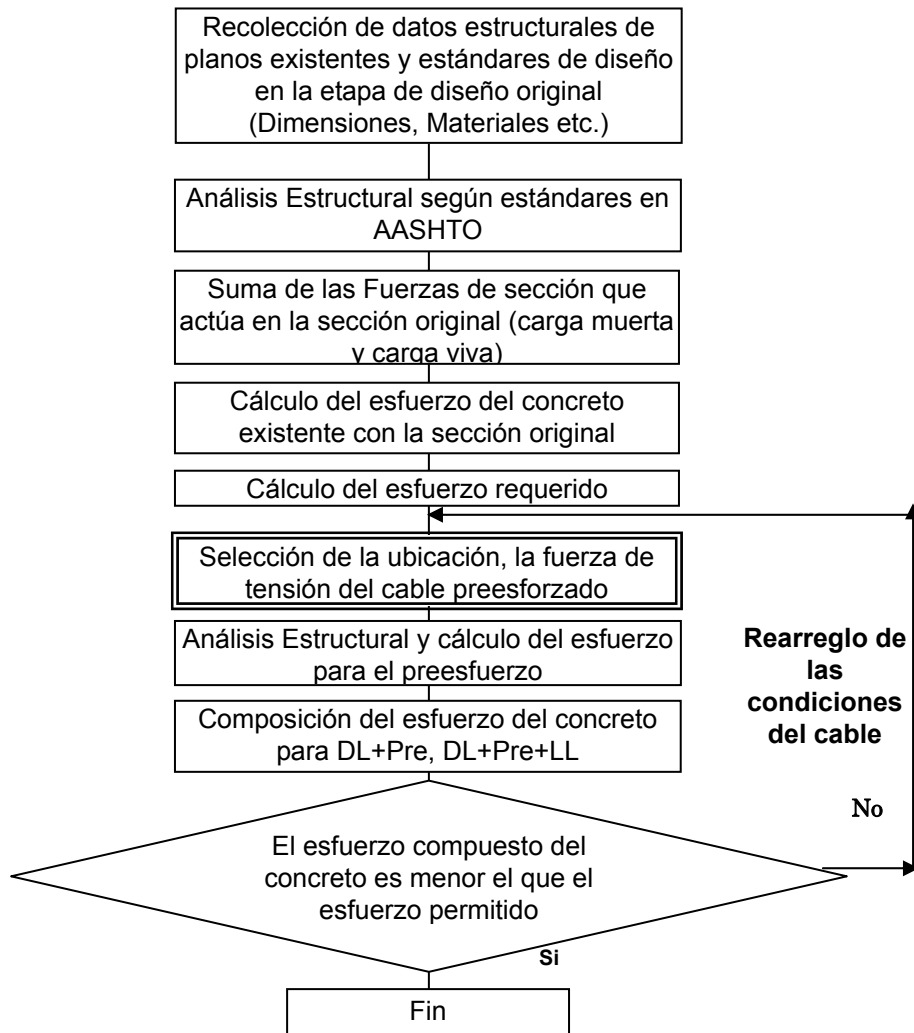


Figura 7.2.27. Programa de Diseño para Viga de concreto reforzado al Adherir Placa de Acero

B. Método de Verificación del Esfuerzo al añadir un cable externo

El método de verificación del esfuerzo para el Puente de viga tipo I prefabricada al añadir un cable externo se explica a continuación.

El esfuerzo compuesto del acero de refuerzo y el concreto de la sección original deberá ser menor que el esfuerzo permitido para (carga muerta + carga viva) y para (carga muerta + preesfuerzo + carga viva) El área requerida de la placa de acero será fijada por el esfuerzo del acero de refuerzo y el esfuerzo de la placa es normalmente más pequeño que su esfuerzo permitido.

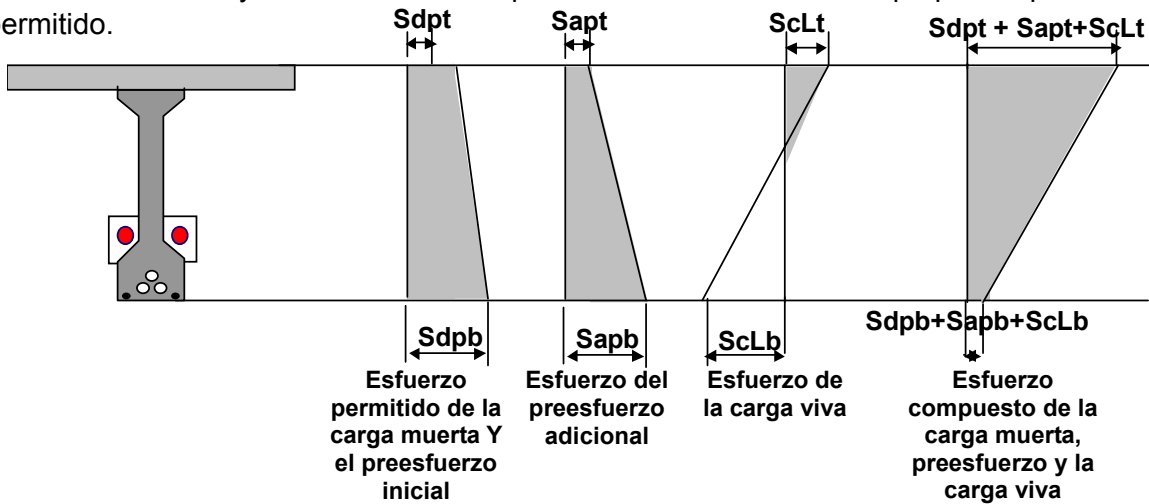


Figura 7.2.28. Esfuerzo para la viga tipo I prefabricada reforzada al añadir un cable externo

1. Esfuerzo del concreto para la sección original de la carga muerta y el preesfuerzo original.
 - S_{dpt} : Esfuerzo del concreto en la parte superior de la losa de la carga muerta y el preesfuerzo inicial (N/mm^2)
 - S_{dpcb} : Esfuerzo del concreto en la parte inferior de la viga debido a la carga muerta y el preesfuerzo inicial. (N/mm^2)
2. Esfuerzo del concreto del preesfuerzo adicional.
 - S_{apt} : Esfuerzo del concreto en la parte superior del preesfuerzo adicional. (N/mm^2)
 - S_{apb} : Esfuerzo del concreto en la parte inferior debido al preesfuerzo adicional (N/mm^2)
3. Esfuerzo del concreto debido a la carga viva
 - S_{cLb} : Esfuerzo del concreto en la parte superior debido a la carga viva (N/mm^2)
 - S_{cLb} : Esfuerzo del concreto en la parte inferior de la carga viva (N/mm^2)
5. Composición del esfuerzo del concreto debido a la carga muerta, al preesfuerzo, el preesfuerzo adicional y la carga viva.
 - Esfuerzo del concreto en la parte superior $S_{ct} = S_{dpt} + S_{apt} + S_{cLt} < S_{ca}$ (N/mm^2)
 - Esfuerzo del concreto en la parte inferior $S_{cb} = S_{dpcb} + S_{apb} + S_{cLb} < S_{ca}$ (N/mm^2)

Todos los esfuerzos compuestos del concreto deberá ser menor que el esfuerzo permitido.

3) Principios de Aplicación de Medidas Correctivas para Vigas I PC

La selección del método correctivo para sistemas de cubiertas de acero se muestra en la Figura 7.2.29.

Si el puente tiene la suficiente capacidad de carga, se requiere sólo la reparación del daño. El método de refuerzo se selecciona en base a los efectos en la sección original. El costo también es un ítem importante, por lo tanto, el método de reconstrucción se escoge como método último.

Este diagrama es una selección simplificada aún cuando el método de refuerzo es seleccionado. Es necesario un juicio comparado sintéticamente con el efecto del refuerzo basado en el análisis estructural, influencia de subestructura, situación del sitio y costo

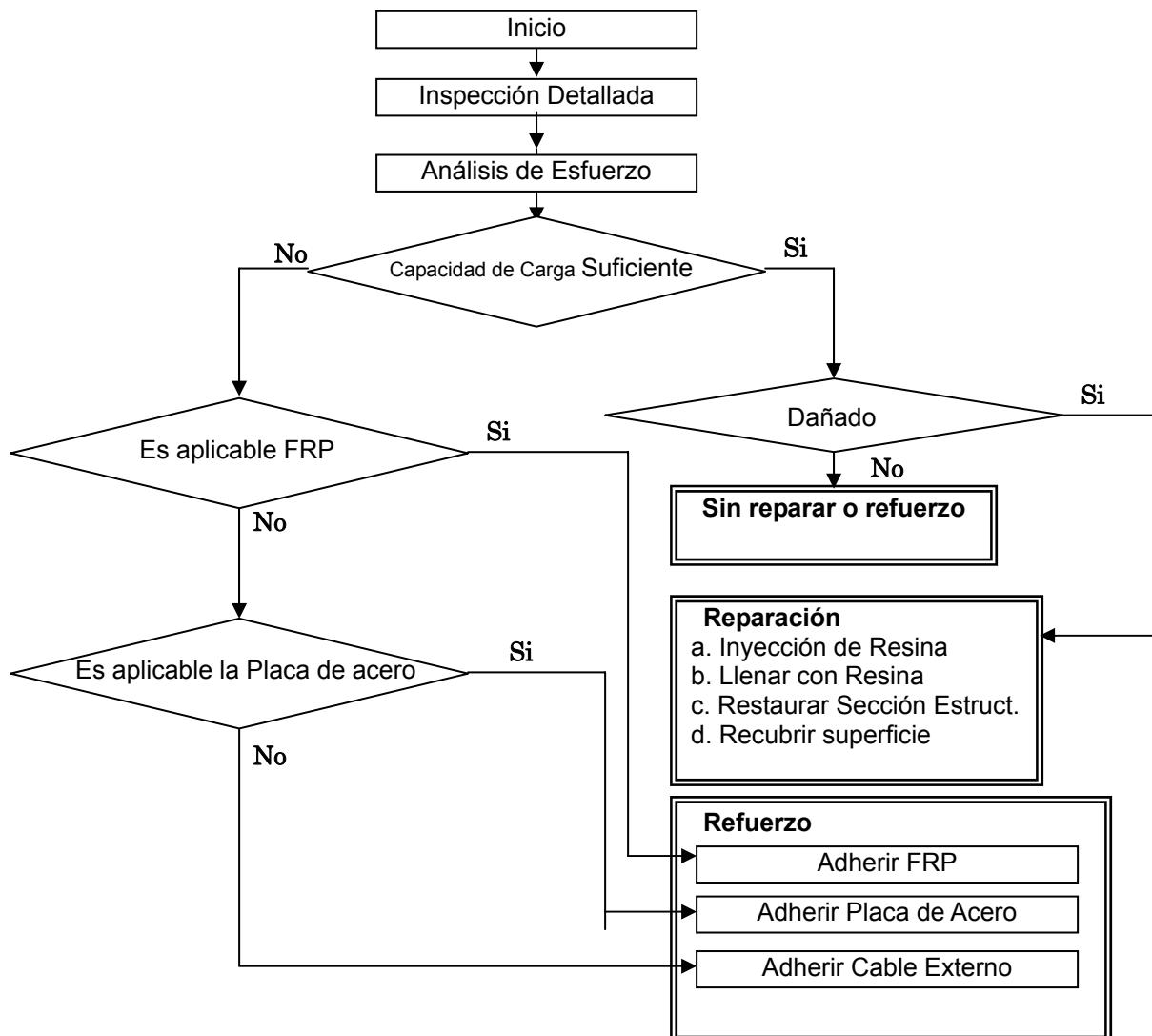


Figura 7.2.29. Programa de Selección para Reparación o Refuerzo de Vigas I PC

7.2.5 Puente de Cajón prefabricado

El Puente de cajón prefabricado se aplica para tramos largos y es relativamente nuevo comparado con otros tipos de puentes en Costa Rica. Para algunos de los puentes cajón prefabricado, que fueron construidos en 1970, se observa una deflexión anormal pero no se observan daños serios. Estos fueron diseñados para una carga viva HS20 y tienen una capacidad de carga suficiente para el nuevo diseño de carga HS20 +25% basada en el análisis estructural. La deflexión anormal parece ser causa de los resultados del deslizamiento del concreto y la relajación de los cables PC.

1) Clasificación de las Medidas Correctivas

Se combinan y aplican varios tipos de métodos para la reparación y el refuerzo de los puentes de cajón prefabricado de acuerdo al grado de daño o a la falta de capacidad de carga. La tabla 7.2.11 muestra las medidas correctivas para el puente cajón prefabricado clasificadas por propósito y método, al igual que el puente de viga tipo I prefabricado.

Tabla 7.2.11. Métodos correctivos para el Puente de cajón prefabricado

Propósito	Medidas Correctivas	Métodos
Reparación o Rehabilitación	Reparar la grieta	Inyección de mortero Relleno de Mortero
	Restaurar la sección estructural	Restaurar la sección estructural
	Cubierta de la superficie de concreto	Cubrir la superficie
Refuerzo	Reforzar con material adicional	Adherir Placa de Acero Adherencia FRP (Fibra de carbón, otro)
	Introducir el preesfuerzo	Añadir cable externo

(1) Método para reparar el Puente de cajón prefabricado

El método de reparación para el Puente de cajón prefabricado es el mismo usado del de los daños en la losa de concreto como se describe en la Tabla 7.2.1. Estos trabajos de reparación se necesitan también donde se observan daños.

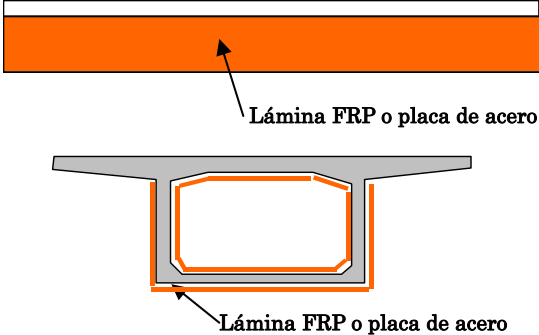
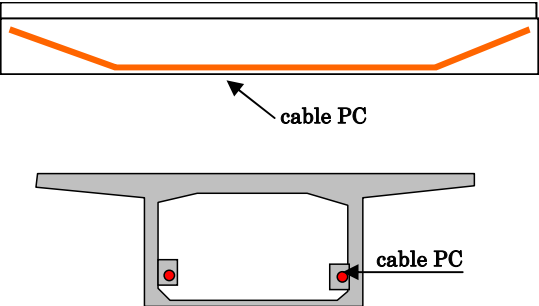
(2) Método de Refuerzo para el puente de cajón prefabricado

La Tabla 7.2.12 muestra los ejemplos principales del método de refuerzo para el puente de cajón prefabricado. Estos métodos mencionados no incrementan el peso de la viga y la influencia sobre la subestructura es muy pequeña.

La fuerza de la viga cajón prefabricada es muy grande, los métodos usados normalmente para reforzar para el esfuerzo cortante y para reforzar parcialmente son el método de adherencia FRP y el de adherencia de placa de acero. El método de cable adicional es el más común para incrementar la capacidad de carga.

Estos métodos requieren hacer hoyos en la viga prefabricada para colocar el material de refuerzo. Por lo tanto, es importante verificar la ubicación de los cables PC en las vigas cajón.

Tabla 7.2.12. Método de Refuerzo para el Puesto de cajón prefabricado

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

2) Método de Diseño de Refuerzo Para Puentes de Vigas Cajón PC

La metodología de diseño de puentes de vigas cajón PC es igual al de puentes de vigas I PC. Por lo tanto, el método de diseño estará referido al de puentes de vigas I PC

3) Principio de Aplicación de Medidas Correctivas para Puentes de Cajón PC

La medida correctiva para los puentes Cajón PC es básicamente el método de calbe externo para el refuerzo de la viga principal. La adherencia de FRP y de Placas de Acero se usa para reforzar la capacidad a cortante o reforzar parcialmente. Estos son los métodos usados mas frecuentemente en puentes de vigas cajón PC

7.2.6 Puente de Viga tipo I de acero

El Puente de viga de acero es un tipo de Puente común para la longitud del tramo medio que no se puede aplicar al Puente de viga tipo I prefabricada. Algunos de ellos se diseñaron para la carga viva HS15 no tienen suficiente capacidad de carga actualmente para los vehículos pesados. Por lo tanto, el esfuerzo de la viga principal excede el esfuerzo permitido para el nuevo diseño de carga HS20 +25%.

1) Clasificación de las medidas correctivas

Se combinan y aplican diferentes tipos de métodos para reparar y reforzar el Puente de viga de acero según el grado de daño o falta de capacidad de carga. En la Tabla 7.2.13 se muestra las medidas correctivas para el puente de viga tipo I de acero clasificadas por propósito y método.

Tabla 7.2.13. Métodos Correctivos para el Puente de Viga tipo I de acero

Propósito	Medidas Correctivas	Métodos
Reparación o Rehabilitación	Restaurar Sección estructural	Restaurar Sección estructural
	Cubrir la superficie del acero	Cubrir la superficie
Refuerzo	Refuerzo con material adicional	Incremento de la dimensión
	Introducir el preesfuerzo	Cable externo adicional

(1) Métodos de reparación para el Puente de Viga Tipo de acero

Los métodos de reparación para el Puente de viga tipo I de acero son el cubrir la superficie o restaurar la sección estructural. Para descascarar la cubierta de la viga se necesita cubrir la superficie. En caso de que se observe corrosión en la superficie se necesita restaurar la sección estructural. Los trabajos de reparación se requieren para reforzar los lugares donde se observan daños.

(2) Método de refuerzo para el Puente de Viga tipo I de acero

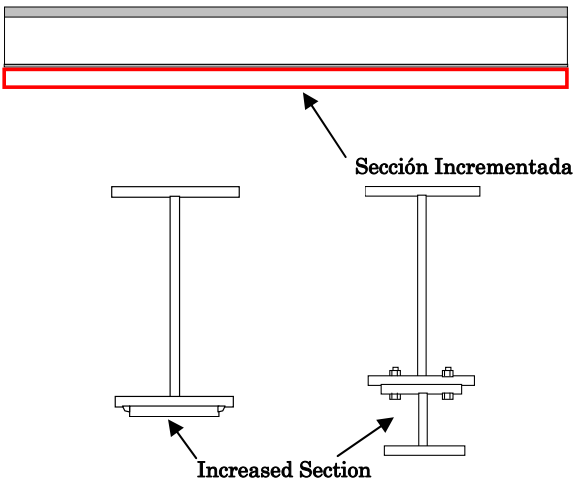
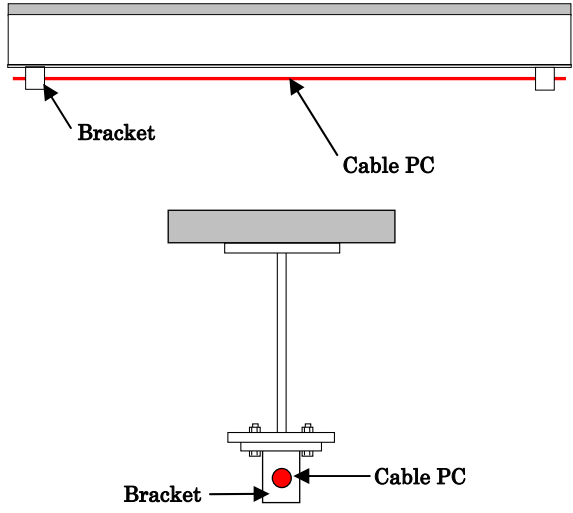
La Tabla 7.2.14 muestra el ejemplo principal del método de refuerzo para el Puente de viga tipo I de acero lo mismo que el Puente de viga tipo I prefabricado a excepción del incremento de la sección.

Ya que la viga tipo I de acero es muy larga, se usa normalmente para reforzar el método de placa de acero adicional para el esfuerzo flexionante y para reforzar. Para incrementar la capacidad de carga el método más efectivo es el de añadir un cable externo.

Estos métodos mencionados incrementan el peso de la viga, pero la influencia a la subestructura es muy pequeño. Por lo tanto, es importante verificar el esfuerzo en las vigas.

Para las partes de conexión, se requiere de un arreglo especial para evitar los pernos en las vigas de acero para colocar el material de refuerzo.

Tabla 7.2.14. Método de Refuerzo de Puentes de Vigas I de Acero

Método de Refuerzo	Figuras	Descripción del Método
<p>Incremento de la Dimensión</p> <ul style="list-style-type: none"> - Incremento del Espesor de la placa de Acero - Incremento de la Sección del Miembro 		<p>Por el incremento de la sección y reducción del esfuerzo del miembro original.</p> <p>Para conexión de partes, se requiere de reacomodo especial para evitar los pernos</p> <p>Se incrementa la carga muerta de la viga</p>
<p>Introducción del Pre-esfuerzo</p> <ul style="list-style-type: none"> -Adicionar cable externo 		<p>Efectivo para reducir el esfuerzo de tensión del acero pero el esfuerzo final del acero se ve incrementado.</p> <p>No se necesita una suspensión de tráfico.</p> <p>Costoso.</p>

2) Método de Diseño para Refuerzo de Vigas I de Acero

(1) Metodología de Diseño de Refuerzo para Vigas I de Acero por Incremento de Dimensión

A. Programa de Diseño para Método de Incremento de la Dimensión

En la Figura 7.2.30 se muestra el programa de diseño para el Puente de Vigas de Acero I debido al método de incremento de dimensiones. La metodología básica del diseño de refuerzo es que el esfuerzo de tensión debe ser resistido por el acero existente dentro del área de tensión de la viga y la sección incrementada.

El esfuerzo de la sección de viga original, el cual esta compuesto por esfuerzos debido a carga muerta y viva, debe ser menor al permitido.

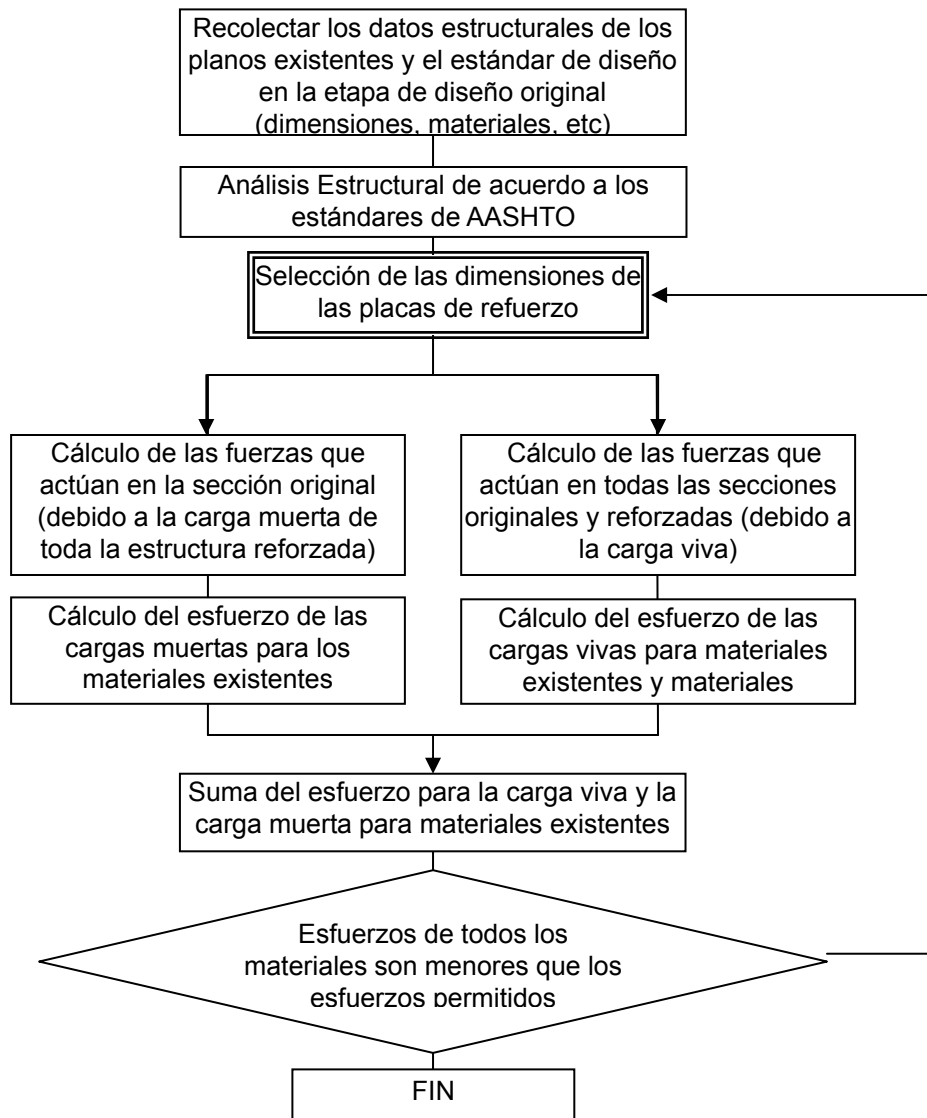


Figura 7.2.30. Programa de Diseño para el Puente de Vigas de Acero I por el incremento de dimensiones

B. Método de Chequeo de Esfuerzo por Incremento de Dimensión

El método de diseño de refuerzo de la viga I de acero por el incremento de la dimensión se muestra a continuación.

Se adhiere una viga H de refuerzo adicional al diafragma o al larguero. De nuevo, la carga viva y muerta se deben considerar por separado como se explica a continuación:

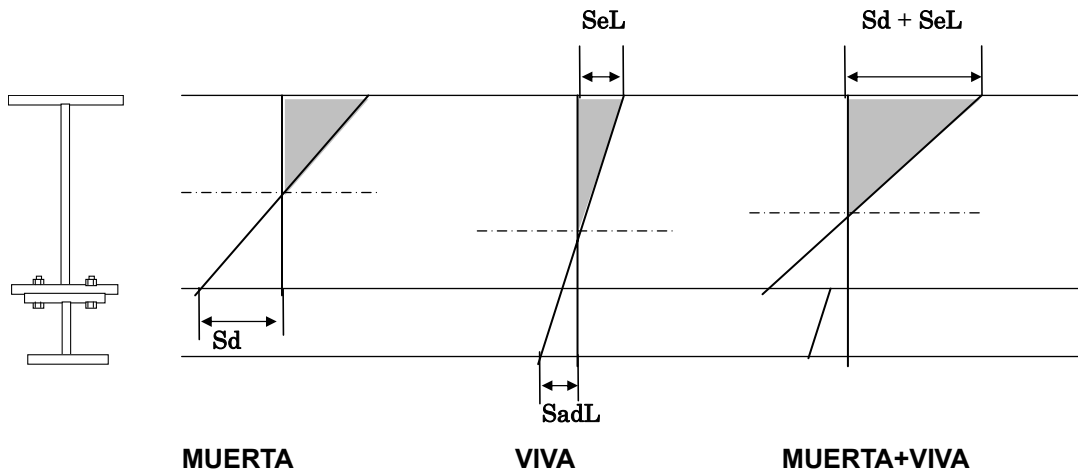


Figura 7.2.31. Imagen de Esfuerzo de Viga I de acero

Esfuerzo de los materiales existentes debido a Carga Muerta + Carga Viva $S = S_d + S_{eL} < S_{e-a}$

Esfuerzo de la Sección H adicional debido a Carga Viva $S = S_{adL} < S_{ad-a}$

Donde:

- Sd : Esfuerzo Flexionante por carga muerta
- SeL, SadL : Esfuerzo Flexionantes por carga viva
- Se-a : Esfuerzo permitido del miembro existente
- Sad-a : Esfuerzo permitido en viga H adicional

(2) Metodología de Diseño para vigas de Acero I por medio de Cable Externo Adicional

A. Programa de Diseño por medio de Cable Externo

La Figura 7.2.32 muestra el programa de diseño para vigas I de acero por medio de Cable externo adicional. El pre-esfuerzo introducido por el cable externo actúa como carga muerta en la sección de viga. El esfuerzo del acero de la sección original de viga debe ser menor que el permisible para carga muerta, carga viva y pre-esfuerzo.

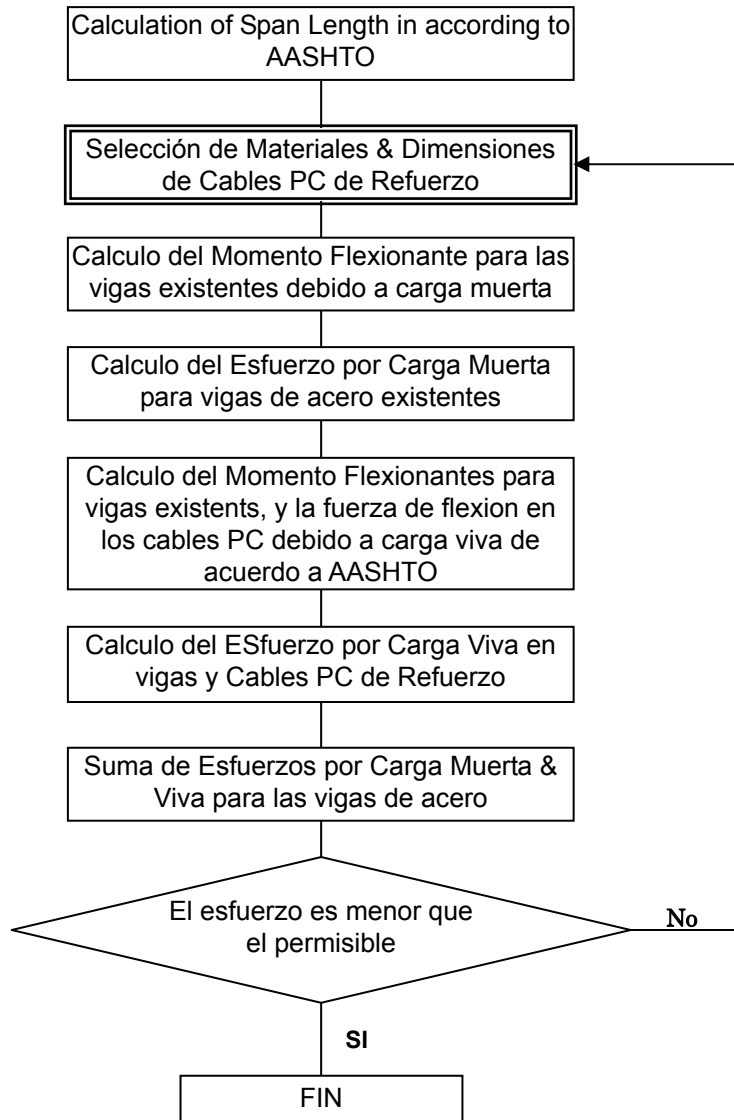


Figura 7.2.32. Programa de Diseño para Refuerzo de Vigas I de Acero por cable externo adicional

B. Método de Chequeo de Esfuerzos para Adición de Cable Externo

El método de chequeo para refuerzo de Vigas I de acero por medio de cable externo se describe a continuación.

EL cable PC externo hace que las vigas de acero sean resistentes a carga muerta y viva. Es más a la fuerza axial, momento flexionante excéntrico por pre-esfuerzo ocurre en la sección de viga. Después de debe chequear el esfuerzo de la siguiente manera.

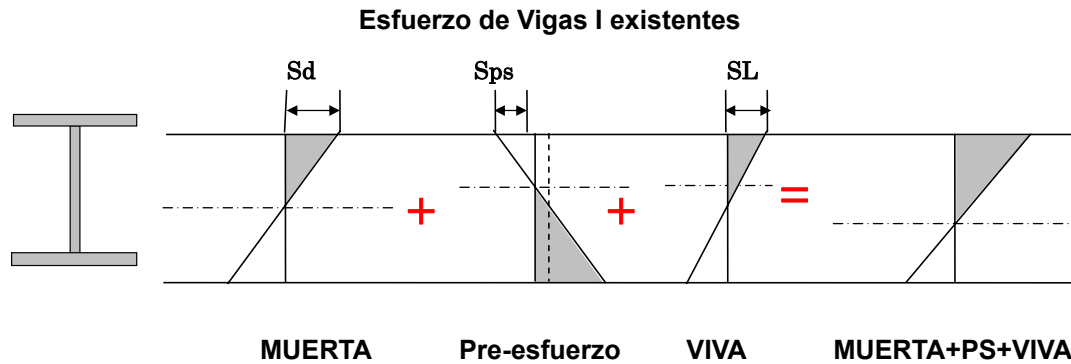


Figura 7.2.33. Imagen de Esfuerzos en Viga I de Acero

Esfuerzo de la viga I de Acero por Carga Muerta + Viva $S = Sd + Sps + SL < Sa$

Donde:

Sd : Esfuerzo Flexionante por carga muerta

Sps : Esfuerzo por carga axial de pre-esfuerzo y su momento excéntrico

SL : Esfuerzo flexionante por carga viva

Sa : Esfuerzo permisible en vigas de acero

3) Principios de Aplicación de Medidas Correctivas para Viga I de Acero

La selección del método correctivo para sistemas de cubiertas de acero se muestra en la Figura 7.2.34.

Si el puente tiene la suficiente capacidad de carga, se requiere sólo la reparación del daño. El método de refuerzo se selecciona en base a los efectos en la sección original. El costo también es un ítem importante, por lo tanto, el método de reconstrucción se escoge como método último.

Este diagrama es una selección simplificada aún cuando el método de refuerzo es seleccionado. Es necesario un juicio comparado sintéticamente con el efecto del refuerzo basado en el análisis estructural, influencia de subestructura, situación del sitio y costo

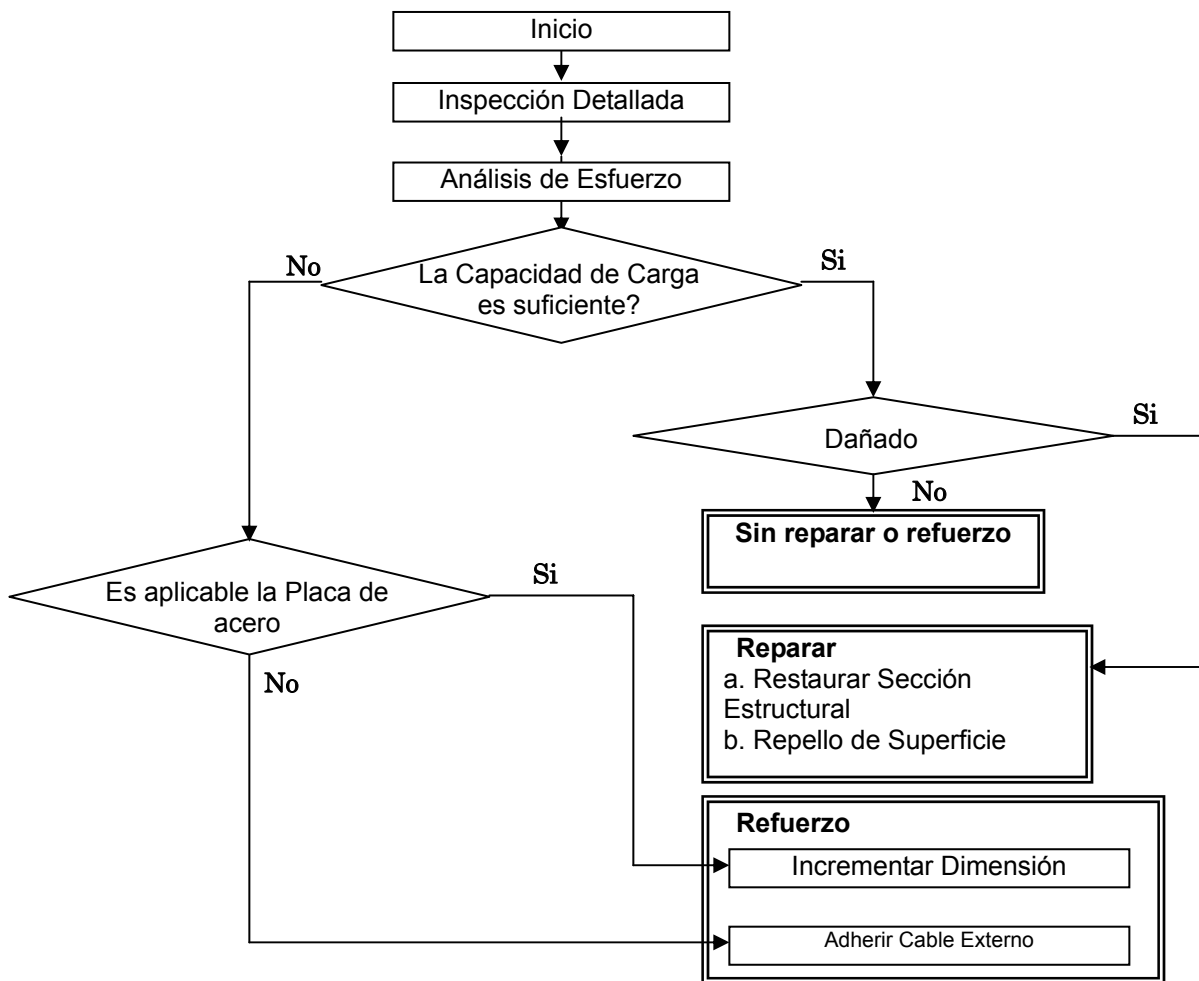


Figura 7.2.34. Programa de Selección para Reparación o Refuerzo de Vigas I de Acero

7.2.7 Puente de Cercha de Acero

Los puentes de cerchas de acero se aplican en tramos largos. Para el marco principal de los puentes de cercha, no se observaron daños serios. Sin embargo, la mayoría de ellos fueron diseñados para carga viva de HS15, por lo que no tienen la suficiente capacidad de carga para los nuevos vehículos pesados. Por tanto, el esfuerzo de la viga principal excede el esfuerzo permisible para la nueva carga viva de HS20+25%.

1) Clasificación de las medidas correctivas

Varios tipos de métodos son combinados y aplicados para reparar y reforzar los puentes de Cerchas de Acero de acuerdo al grado de daño o falta de capacidad de carga. Las medidas correctivas para puentes de Cerchas de acero se clasifican por sus propósitos y métodos en la Tabla 7.2.15.

Tabla 7.2.15. Métodos Correctivos para el Puente de Cercha de Acero

Propósito	Medida Correctiva	Métodos
Reparar o Rehabilitar	Restaurar Sección Estructural	Restaurar Sección Estructural
	Recubrir superficie de acero	Recubrir Superficie
Refuerzo	Reforzar con material adicional	Incrementar Dimensiones
		Miembro Diagonal Adicional
	Introducción de Pre-esfuerzo	Adherir Cable Externo

(1) Método de Reparación para Cerchas de Acero

Los metodos de reparación de puentes de cerchas de acero es igual a la de los daños de las Vigas I de Acero descritas en el 7.2.6. estos trabajos de reparación requieren de refuerzo en donde se observaron daños.

(2) Método de Refuerzo de Puentes de Cerchas de Acero

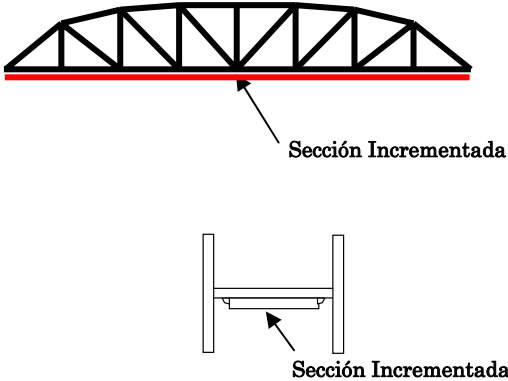
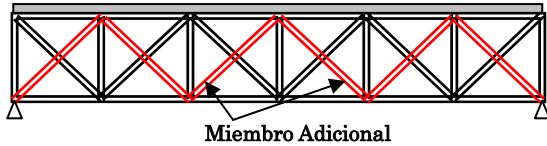
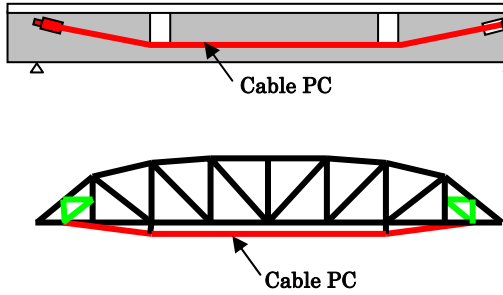
La Tabla 7.2.16 muestra los principales ejemplos de metodos de refuerzo para puentes de cerchas de acero. Estos métodos incrementan el peso del puente, y en algunos casos, la influencia en la subestructura es no insignificante.

Como la fuerza en la cuerda inferior es muy alta, normalmente se usa el método de adición de miembro, reduciendo el esfuerzo en el miembro adicional y para todo el refuerzo.

Para incrementar la capacidad de carga, el método mas efectivo es el de adherir cable externo, pero se requiere de refuerzo para anclar el cable.

En el caso de que el sistema estructural cambie por el refuerzo, es importante chequear el esfuerzo en todos los miembros de la cercha.

Tabla 7.2.16. Métodos de Refuerzo para Puentes de Cecha de Acero

Método de Refuerzo	Figuras	Descripción del Método
<p>Incrementar Dimensión - Incrementar Espesor de Placas de Acero</p>	 <p>The figure consists of two parts. The top part is a side view of a truss bridge with a thickened bottom chord, labeled 'Sección Incrementada'. The bottom part is a cross-section of the thickened chord, also labeled 'Sección Incrementada'.</p>	<p>Incremento de la inercia de la sección y reducir el esfuerzo en el miembro original. Para partes de conexión, se requiere un acomodo especial para evitar los pernos. Se incrementa la carga muerta del puente.</p>
<p>Construir Miembro Adicional -Miembro Adicional</p>	 <p>The figure shows a side view of a truss bridge with several diagonal members highlighted in red, labeled 'Miembro Adicional'.</p>	<p>Por la distribución de esfuerzos del material adicional para reducir el esfuerzo en el miembro original Se incrementa la carga muerta del puente</p>
<p>Introducir Pre-esfuerzo -Adherir Cable Externo</p>	 <p>The figure consists of two parts. The top part is a cross-section of a beam with a red PC cable embedded inside, labeled 'Cable PC'. The bottom part is a side view of a truss bridge with a red PC cable running along the bottom chord, also labeled 'Cable PC'.</p>	<p>Efectivo para reducir el esfuerzo del miembro, pero se requiere de anclaje para el cable. Costoso.</p>

2) Método de Diseño de Refuerzo para Puentes de Cercha de Acero

(1) Metodología de Diseño de Refuerzo para Puentes de Cercha de Acero por medio de Incremento de Dimensión

A. Programa de Diseño para Método de Incremento de la Dimensión

En la Figura 7.2.35 se muestra el Programa de diseño para el puente de cercha de acero, el cual se refuerza con el método de incremento de la dimensión. La metodología básica del diseño de Refuerzo es que el acero existente en el lado del área de tensión de la viga y la sección incrementada resista el esfuerzo de tensión.

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

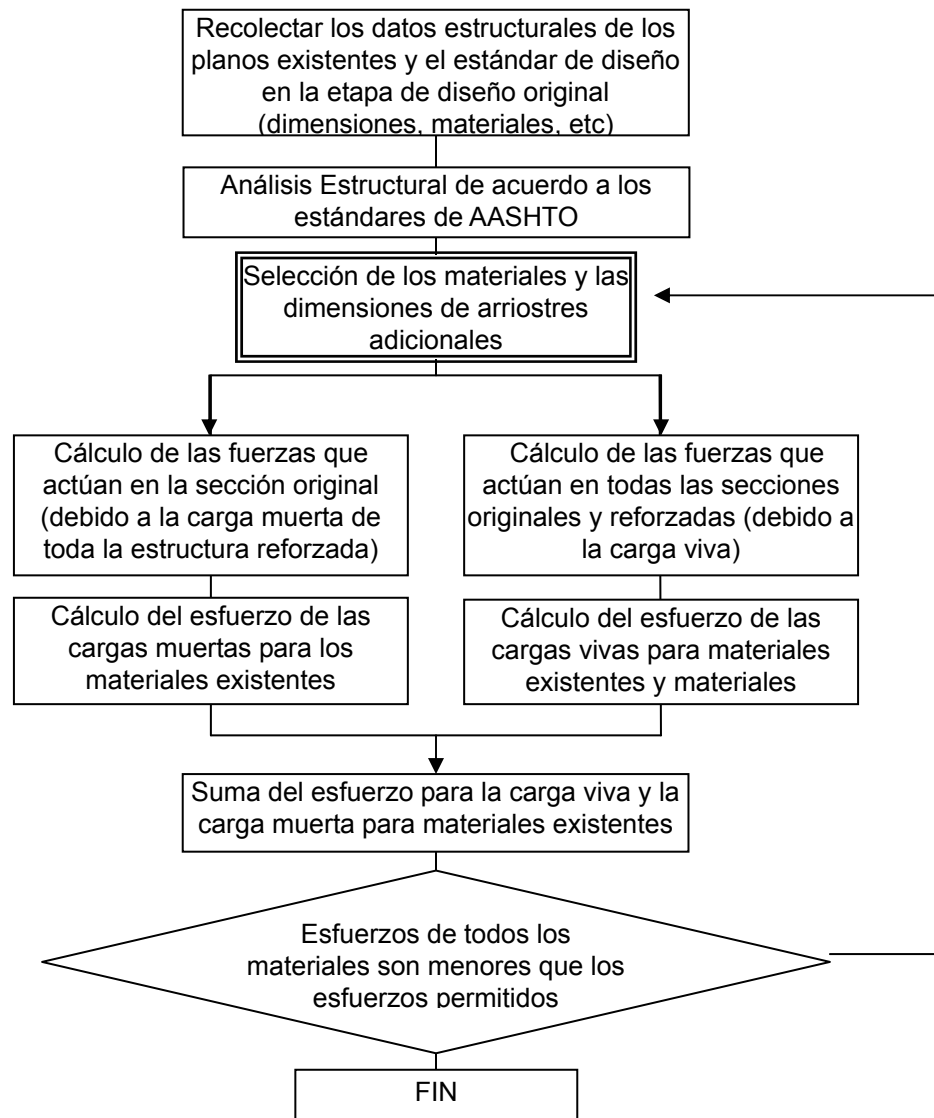


Figura 7.2.35. Programa de Diseño para el Puente de cercha de acero reforzado al incrementar la dimensión

B. Método de Chequeo de Esfuerzos por Incremento en Dimensión

El método de chequeo de esfuerzos para puentes de Cerchas de Acero por el incremento en la dimensión se muestra a continuación.

En el método de adherencia de placas de refuerzo a miembros existentes, se debe considerar las cargas muertas y vivas separadamente. La carga muerta de toda la estructura, la cual incluye los materiales existentes y los nuevos, actúa solamente en la sección original, mientras las cargas vivas actúan sobre la sección reforzada. El chequeo de las secciones originales es desarrollado principalmente de la siguiente manera:

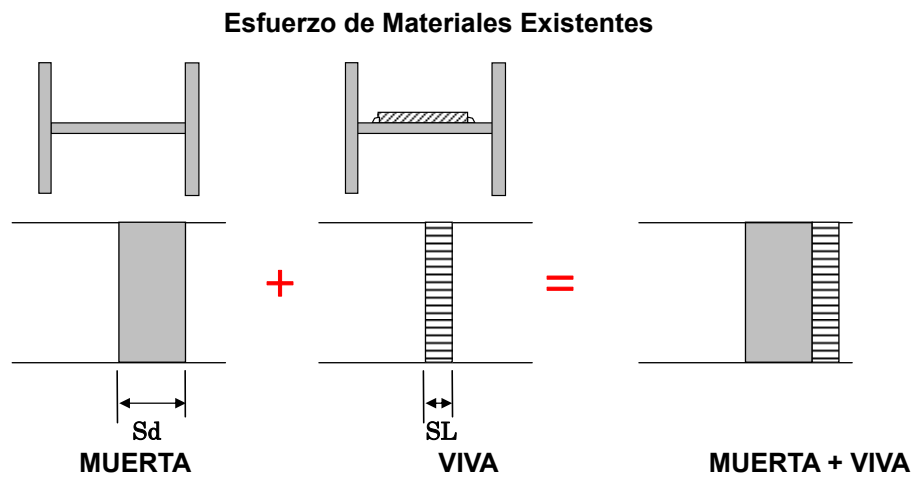


Figura 7.2.36. Imagen de Esfuerzo en Cuerda Inferior

Esfuerzo de los materiales existents debido a Carga Viva+Muerta

$$S = S_d + S_L < S_a$$

Donde:

S_d : Esfuerzo por carga muerta, fuerza axial

S_L : Esfuerzo por carga viva, fuerza axial

S_a : Esfuerzo Permitido de material existente

(2) Programa de Diseño de Refuerzo para Puentes de Cercha de Acero por medio de Miembros Diagonales Adicionales

A. Programa de Diseño para Método de Miembro Adicional

En la Figura 7.2.37 se muestra el programa de diseño para el Puesto de cercha de acero, reforzado con el método de añadir un miembro diagonal. La metodología del diseño de Refuerzo es reducir el esfuerzo del miembro original e incrementar la capacidad de carga.

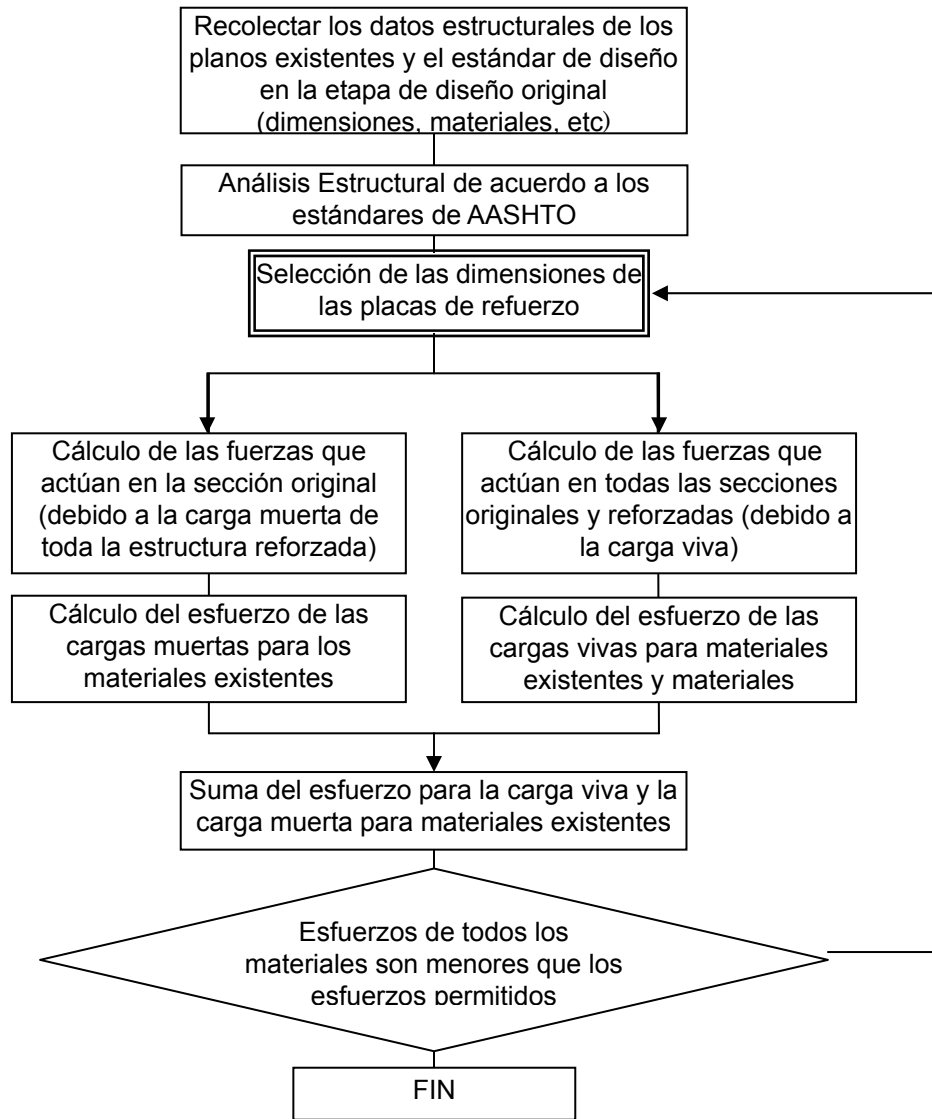


Figura 7.2.37. Programa de Diseño para el Puesto de cercha de acero reforzado con miembros diagonales adicionales

B. Método de Chequeo de Esfuerzos por miembro diagonal

El procedimiento de chequeo desarrollado aquí es equivalente al de adherencia de placas de acero de refuerzo en miembros existentes. El miembro existente pondra resistencia a carga viva y meurta y el miembro adicional sólo a carga viva, como se muestra a continuación:

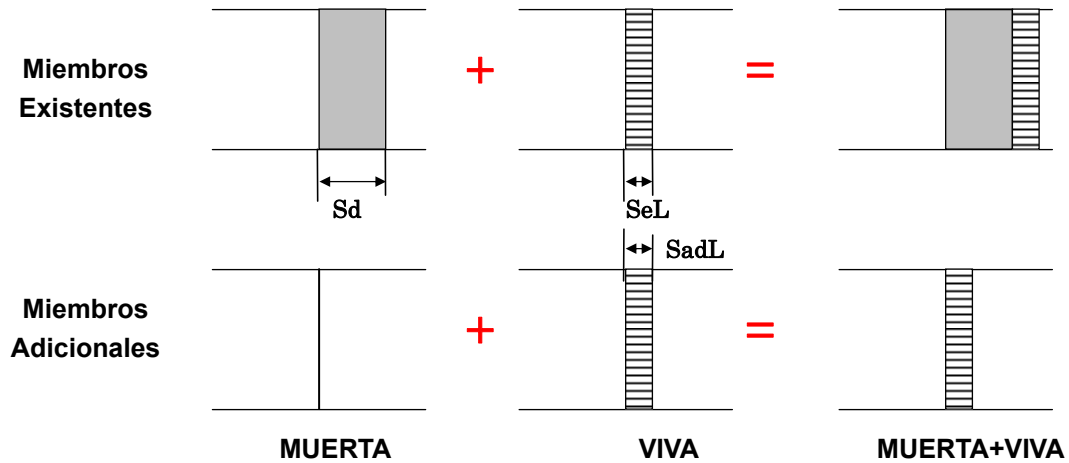


Figura 7.2.38. Imagen de Esfuerzo en Miembro de Cercha

Esfuerzo en miembro existente debido a Carga Viva+Muerta $S_e = S_d + S_{eL} < S_{e-a}$

Esfuerzo de miembro Adicional debido a Carga Viva $S_{ad} = S_{adL} < S_{ad-a}$

Donde:

S_d : Esfuerzo por carga muerta, fuerza axial

S_{eL} , Esfuerzo por carga viva, fuerza axial

S_{e-a} : Esfuerzo Permitido de material existente

S_{ad-a} : Allowable stress of additional bracing

(3) Metodología de Diseño de Refuerzo de Cerchas de Acero por medio de Cable Externo

A. Programa de Diseño por medio del método de Cable Externo

La Figura 7.2.39 muestra el programa de diseño de refuerzo de las Cerchas de Acero por medio de Cable externo. El pre-esfuerzo introducido por el cable externos actua como carga muerta en la sección de viga. El esfuerzo del acero de refuerzo en la seccion original de viga debe ser menor al permitido para carga muerta, viva y presfuerzo

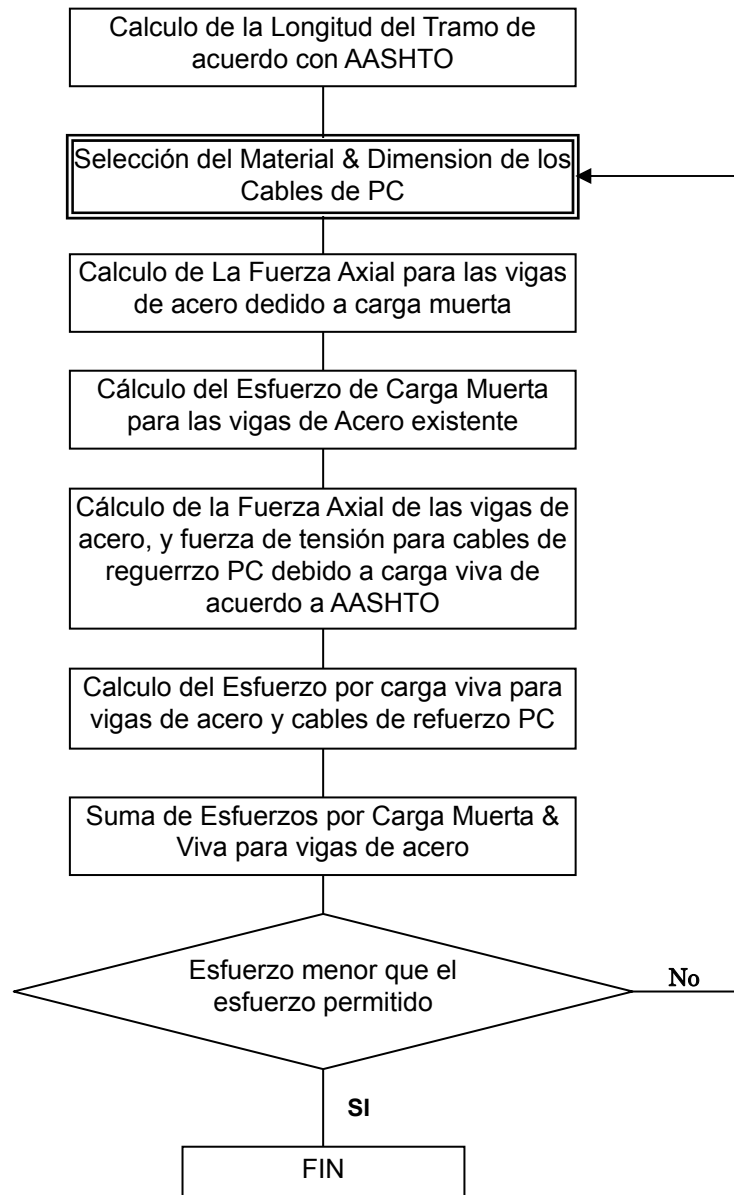


Figura 7.2.39. Programa de Diseño para Refuerzo de Cerchas de Acero por medio del método de Cable Externo

B. Chequeo de Método de Adición de Cable Externo

El método de chequeo de esfuerzos para cable externo se muestra a continuación.

El refuerzo de Cables de PC hace que la cuerda inferior resista la carga muerta y viva. Además de la fuerza axial, momento flexionante excentrico por pre-esfuerzo que ocurre en la sección de cuerda inferior. En consecuencia, el método de chequeo de esfuerzos es el siguiente.

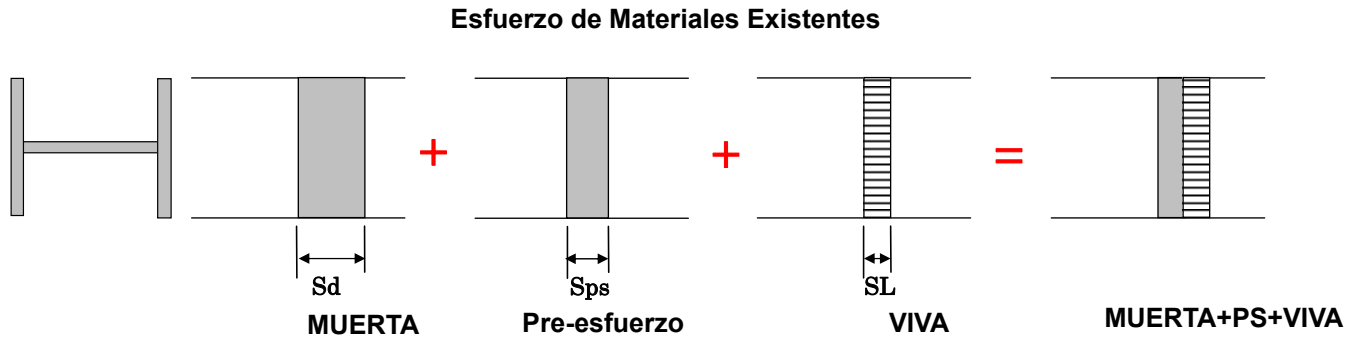


Figura 7.2.40. Imagen del Esfuerzo en la cuerda inferior

Esfuerzo en la cuerda Inferior debido a Carga Muerta + Viva $S = S_d + S_{ps} + SL < S_a$

Donde:

S_d : Esfuerzo Axial por carga muerta

S_{ps} : Esfuerzo por pre-esfuerzo axial y su momento excentrico

SL : Esfuerzo axial por carga viva

S_a : Esfuerzo permisible de la viga de acero

3) Principio de Aplicación de Medidas Correctivas para puentes de Cercha de Acero

La Figura 7.2.41 muestra la selection de medidas correctivas para puentes de Cerchas de Acero.

Si el puente tiene la suficiente capacidad de carga, el reparo del daño se lo unico que se requiere. El método de refuerzo es basado en el efecto sobre la seccion original de viga. El costo de tambien importante, por tanto, le método de cable externo es el que se utiliza como último.

Este es programa de método de selección simplificado, cuando se selecciona el método de refuerzo, es necesario tener un criterio sintético comparado con el efecto del refuerzo basado en el análisis estructura, la influencia sobre la subestructura, la ubicación del sitio y el costo

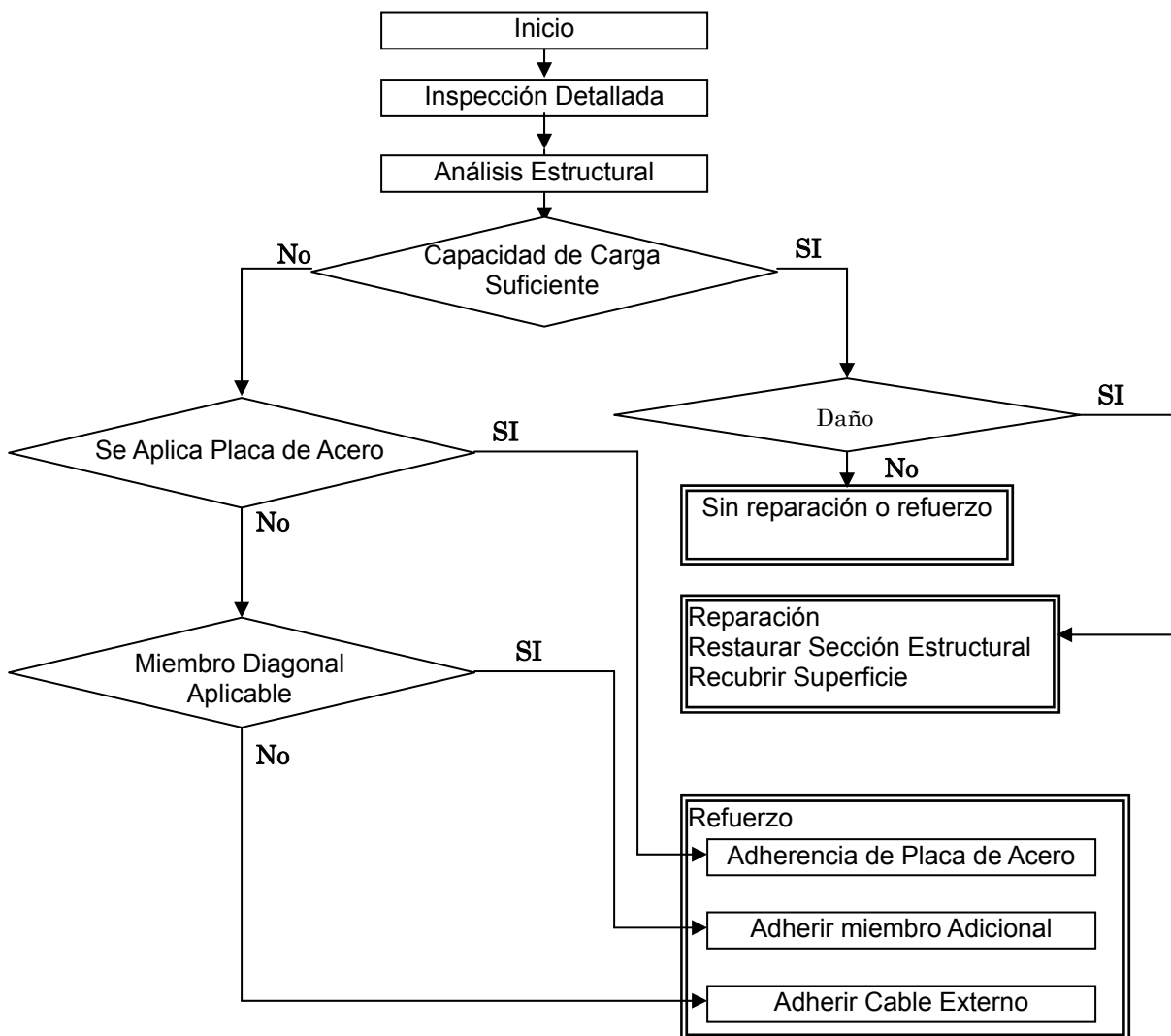


Figura 7.2.41. Programa de Selección para Reparación y Refuerzo de puentes de Cercha de Acero

7.2.8 Subestructura (Viga Cabezal, Pila y Columna)

7.2.8.1 Método de Refuerzo

1) Generalidades

De acuerdo a AASHTO, las pilas y los bastiones deben ser diseñados para que resistan carga muerta, cargas vivas en la vía, cargas de viento en la superestructura, fuerzas ocasionadas por las corrientes, efectos de temperatura y contracción, presiones laterales de tierra y presión de agua, socavación, colisiones y cargas de sismo.

Entre esas cargas, la carga muerta, carga viva, presión de tierra y cargas de sismo son cargas que prevalecen para el planeamiento del refuerzo de la subestructura. Por otro lado, la socavación afecta la estabilidad de la fundación.

Generalmente se ha considerado que la carga viva no afecta la capacidad de carga de la subestructura, sin embargo, cuando la subestructura es de forma T, la viga transversal debe ser seleccionarse y diseñada en consideración del tamaño del ancho de la Longitud de Asiento. El desempeño de la seguridad de la pila o de la columna debe ser chequeado por las cargas de sismo principalmente.

Las cargas de sismo deben ser consideradas de acuerdo al AASHTO y a los estándares relevantes para Costa Rica.

2) Método de Refuerzo

El fenómeno de defectos en la superestructura, los cuales requieren refuerzo, son deterioros por durabilidad, grietas excesivas, deformaciones grandes, etc. Los métodos principales de refuerzo para la subestructura se muestran abajo.

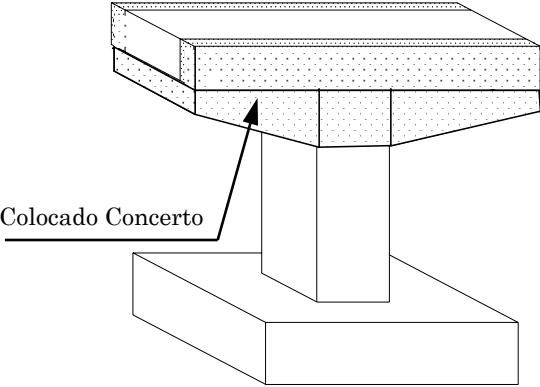
	Método de Refuerzo	
	Viga	
Incrementar la Sección del Miembro	Incremental el Área de la Sección (Altura y/o Ancho	Incrementar la Sección del Miembro
Adherir material de Refuerzo en la superficie existente	Reforzar por preesfuerzo	Adherir material de Refuerzo en la superficie existente

7.2.8.2 Resumen del Método y Puntos Clave del Diseño y Construcción para Refuerzo

1) Viga Cabezal

(1) Incrementar el Área de la Sección (Altura y/o Ancho)

A. Resumen de éste Método

Resumen	<p>-El alto y ancho de la viga cabezal se incrementa con concreto reforzado.</p> <p>-Incrementar la Sección y los aros pueden incrementar la resistencia al cortante.</p> <p>-Esta parte adicional será parte de la Longitud de Asiento (LA) para mejorar la sismicidad.</p>	
Diagrama Esquemático		
Característica	Pros	Característica
	<p>-Es fácil de inspeccionar después del refuerzo</p> <p>-La capacidad de carga de la viga cabezal se incrementa</p> <p>-Este método puede traer efectos de refuerzo de resistencia a cortante</p> <p>-Facilidad en la Construcción</p>	Incremento de la Carga Muerta

B. Puntos clave del Diseño y Construcción

Material	<ul style="list-style-type: none"> -Es material utilizado para el concreto estructural normal. -Se aplican resinas epoxicas para la junta de construcción con el concreto existente. -El anclaje de las barras se arreglara con resinas epoxicas cuando el acero de refuerzo es fijado a concreto existente.
Diseño	<ul style="list-style-type: none"> -Se mejora el cálculo de la sección considerando la influencia del incremento de la carga por el incremento de concreto en el miembro existente. -El incremento de concreto se debe adherir al concreto existente asegurando su uniformidad. La sección unificada se convierte en una sección resistente al incremento de esfuerzo. Sin embargo, la sección resistente es efectiva solo para incremento en carga.
Detalle Estructural	Es basado en los estándares para estructuras de concreto reforzado.
Construcción	<ul style="list-style-type: none"> -Debe ser asegurada una fijación adecuada a la estructura existente. -La junta de construcción debe ser picada y debe aplicarse resina epoxica para asegurar la uniformidad. -Para la construcción, se requiere el apropiado tratamiento par alas condiciones del miembro existente porque el grado de los daños de él puede ser diferente a las condiciones presumidas en la etapa de diseño. -La secuencia de construcción se muestra en la Figura 7.2.42

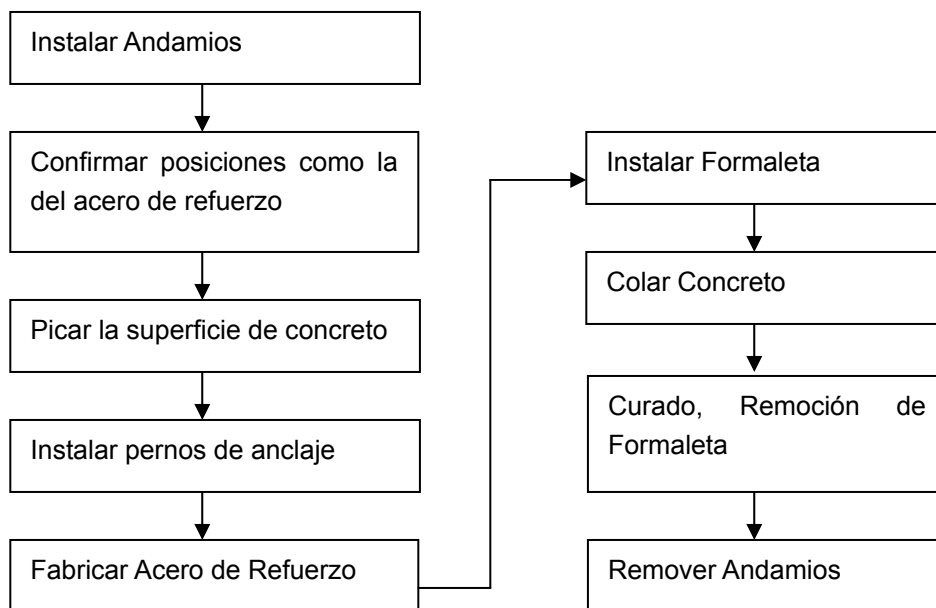
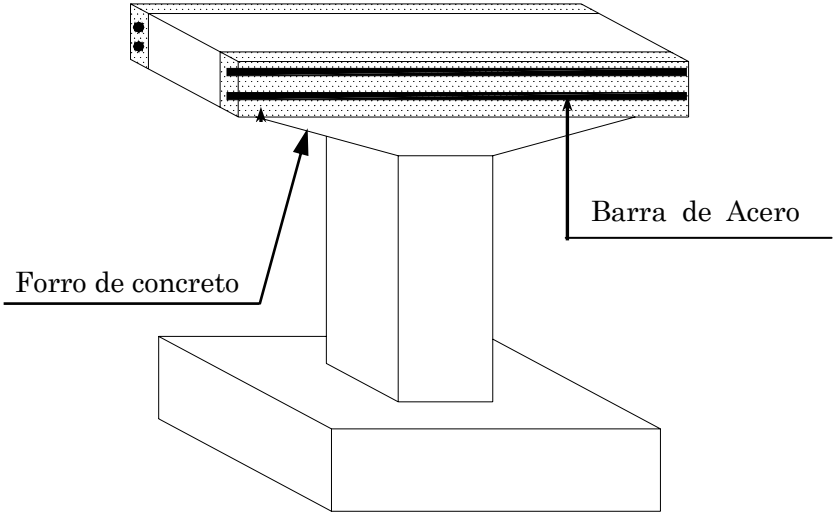


Figura 7.2.42. Proceso de Construcción para Incremento de Sección (Altura/Ancho)

(2) Refuerzo por preesfuerzo

A. Resumen de éste Método

Resumen	<p>-Este método recobra o mejora la capacidad de flexión y cortante introduciendo preesfuerzo en el miembro de la viga. También se puede esperar que se incremente la rigidez del miembro de concreto y decrezcan las grietas de concreto.</p> <p>-Se acomodan Barras PC o cables externos a la viga de cabezal existente de la pila y la fuerza axial es cargada por preesfuerzo.</p> <p>-Antes del preesfuerzo de PC o el cable es cubierta por concreto reforzado para fijarla a la viga existente.</p> <p>-Esta parte adicional será parte de la Longitud de Asiento (LA) para mejorar la sismicidad.</p>	
Diagrama Esquemático	 <p>El diagrama muestra un pilar con una viga de cabezal. Una capa superior de concreto, etiquetada como 'Forro de concreto', cubre la parte superior del pilar y la viga. Una 'Barra de Acero' se introduce a través de la viga y se ancla en el pilar. Las flechas indican la ubicación de estas componentes.</p>	
Característica	<p>Pros</p> <ul style="list-style-type: none"> -No se incrementa la carga muerta -Es fácil de inspeccionar después del refuerzo -La capacidad de carga de la viga cabezal se incrementa 	<p>Característica</p> <p>Cuando el concreto de la viga existente no tiene suficiente resistencia se necesita la administración de la ejecución cuidadosa para el trabajo PC.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Este método no tiene un efecto de refuerzo para la resistencia cortante.

B. Puntos clave del Diseño y Construcción

Material	<p>-Materiales como Concreto, Acero de Refuerzo, Tendones, Dispositivos Mecánicos, Acopladores, Cubiertas y Cemento blando, son materiales usados para estructuras de concreto presforzado.</p> <p>-Prestar atención para protección contra la corrosión de tendones para el método de cable externo ya que el tendón se acopla fuera de la sección de material de concreto.</p>
Diseño	<p>-El calculo de la sección es desarrollado en consideración de la influencia del incremento de concreto, el incremento de la carga por preesfuerzo de la sección de concreto.</p> <p>-Se debe asegurar la uniformidad del incremento de concreto al miembro existente.</p> <p>-La uniformidad contrae sección resistente para incremento de esfuerzo, Sin embargo, la sección resistente es solo efectiva hacia incremento en carga.</p> <p>-La capa de tendones se desarrolla en consideración de la pasta de concreto de la estructura existente, el miembro de refuerzo, la resistencia de la parte, la influencia del miembro de soporte, buena vista, capacidad de trabajo y economía.</p>
Detalle Estructural	Es basado en los estándares para estructuras de concreto reforzado normales o estructuras de concreto presforzado.
Construcción	<p>-La junta de construcción debe ser picada y debe aplicarse resina epoxica para asegurar la uniformidad.</p> <p>-El preesfuerzo es un trabajo especialmente importante, y se requiere atención porque condiciones peligrosas dado a las diferencias de las condiciones del Diseño pueden presentarse durante la secuencia de este método.</p> <p>-Para la construcción, se requiere el apropiado tratamiento par alas condiciones del miembro existente porque el grado de los daños de él puede ser diferente a las condiciones presumidas en la etapa de diseño.</p> <p>-La secuencia de construcción se muestra en la Figura 7.2.43</p>

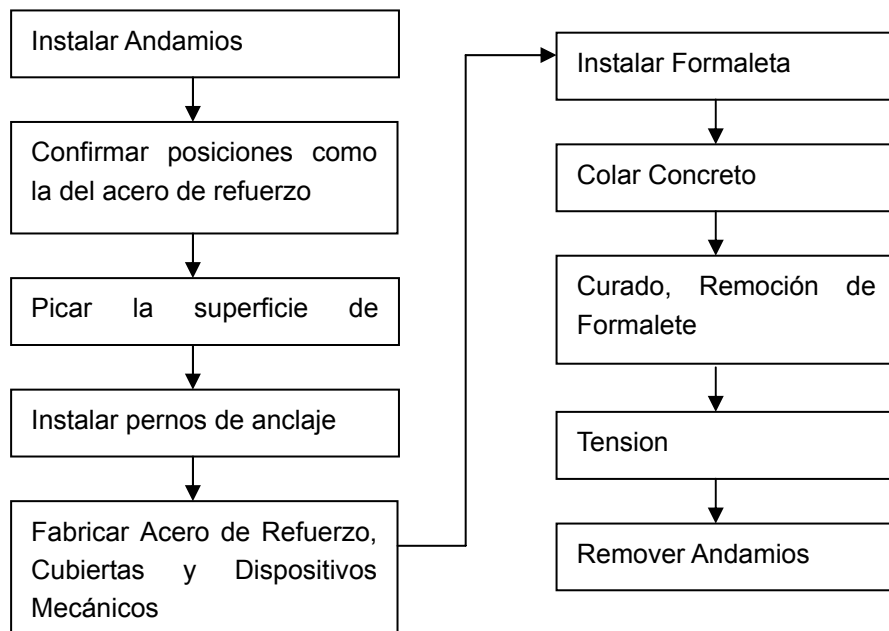
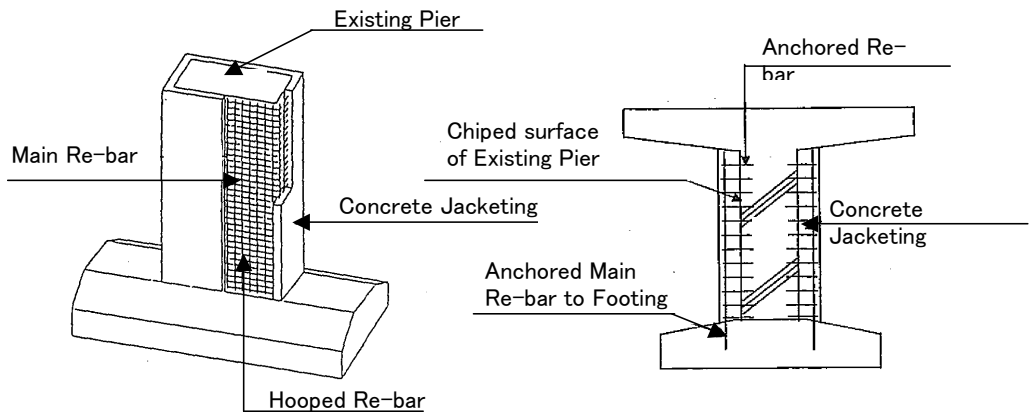


Figura 7.2.43 Proceso de Construcción para preesfuerzo

2) Pila y Columna

(1) Encamisado de Concreto

A. Resumen de éste Método

Resumen	<p>-El método de forro de concreto es un método de refuerzo que adhiere concreto reforzado nuevo a la circunferencia de concreto existente para incrementar la resistencia de la sección.</p> <p>-El espesor del forro de concreto es usualmente desde 25cm a 30cm y los aros cuando existen pilas o columnas deben ser instaladas para asegurar la ductilidad de la pila o la columna después del refuerzo.</p> <p>-Para pilas tipo muro, el Nuevo concreto reforzado se coloca alrededor de la pila y las barras de anclaje se conectan longitudinalmente al Nuevo concreto reforzado para restringir la dirección lateral.</p> <p>-El tratamiento de una junta de expansión y el Nuevo concreto con la fijación y el anclaje en la estructura existente para confiar en una unificación del concreto nuevo y el existente.</p> <p>La subestructura es reforzada por el Nuevo concreto reforzado colocado a lo largo de la superficie.</p> <p>-El espesor del encamisado de concreto es generalmente 25cm.</p>	
Diagrama Esquemático		
Característica	<p>Pros</p> <ul style="list-style-type: none"> -El costo de construcción es bajo -Generalmente es económico comparado con otros métodos. -El control del mantenimiento es también fácil. 	<p>Característica</p> <ul style="list-style-type: none"> La sección de Subestructura incrementada - Incremento en la carga muerta - Se requiere atención en la influencia sobre la sección de río porque el incremento en la sección es grande -Se requiere estudio de las fundaciones porque el incremento de la carga muerta es grande.

B. Puntos clave del Diseño y Construcción

Material	-El concreto debe ser menos contraible, de alta resistencia y alta resistencia temprana. -Generalmente se usa resina epoxica para mejorar la adherencia con el concreto existente.
Diseño	-La carga muerta del concreto es diseñada en la sección del miembro. La carga muerta y la fluctuación de carga del concreto de forro se diseñan con el miembro de forro. -Es necesario tomar en cuenta la influencia de la estructura de la fundación en consideración cuando el peso del concreto de forro es considerable
Detalle Estructural	-Cuando se instala el anclaje de la junta de construcción del Nuevo concreto, el intervalo de anclaje es de 30cm a 40cm y la longitud de anclaje es de alrededor de 15 veces el diámetro del anclaje. -El espesor del forro con el acero de refuerzo debe asegurar el recubrimiento suficiente.
Construcción	- La secuencia de construcción se muestra en la Figura 7.2.44 -Cuando se hace un hueco para el perno de anclaje, es importante que ese hueco no dañe al acero de refuerzo existente.

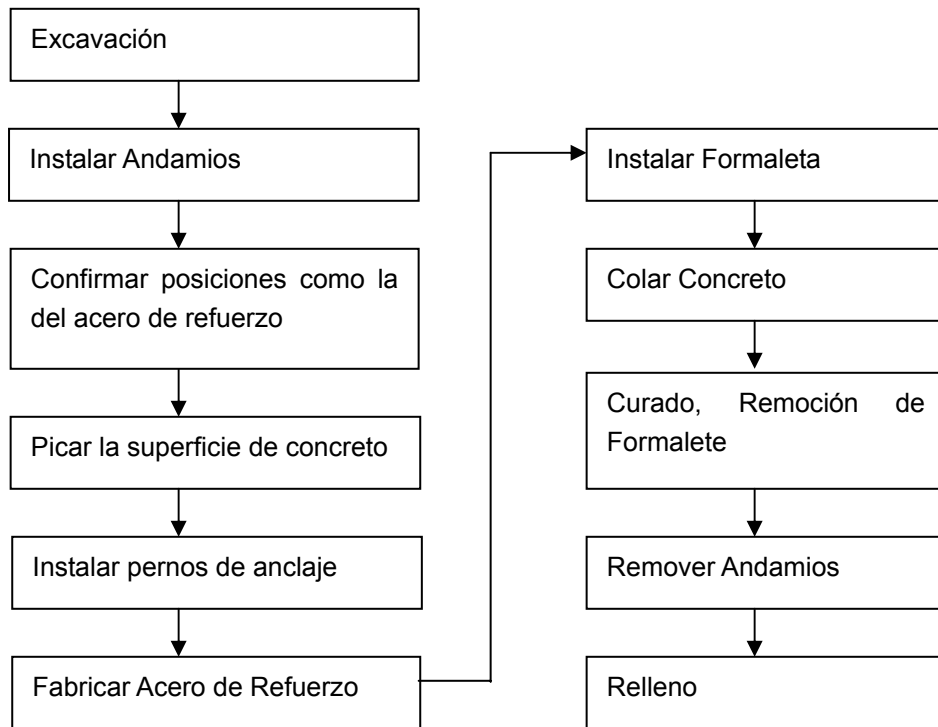
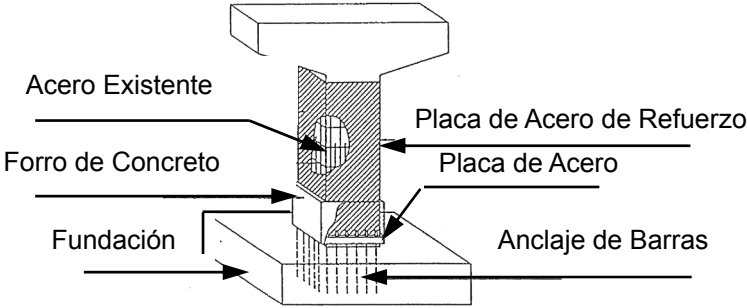


Figura 7.2.44. Proceso de Construcción para Encamisado de Concreto

(2) Rodear con Placas de Acero

A. Resumen de éste Método

Resumen	<p>-El método adhiere un forro de placa de acero con mortero expansivo o resina epoxica a la circunferencia de concreto existente para incrementar la resistencia.</p> <p>-La placa de acero unificada con el concreto existente incrementan la resistencia como el acero de refuerzo.</p> <p>-Cuando el deterioro de la superficie de concreto existente es drástico, se requiere un método de reparación como la inyección o restauración de la sección.</p> <p>-La placa de acero es girada alrededor de la subestructura.</p> <p>-Se inyecta resina epoxica o mortero en el espacio entre la placa de acero y el concreto para unificarlos.</p>	
Diagrama Esquemático		
Característica	<p style="text-align: center;">Pros</p> <ul style="list-style-type: none"> -Hay muchos casos en los que se aplica este método. -No incrementa el ancho de la subestructura -No se incrementa la carga muerta con el Encamisado de Concreto -Este método de refuerzo para efectos de fuerza cortante -Hay muchos resultados constructivos. -Se puede esperar una mejora en la resistencia. -La influencia de la sección del río y el claro de la estructura es bajo porque el incremento en la sección es pequeño. -El examen de las fundaciones es necesario a traves de que el incremento de la carga muerta no es tanto como con el forro de concreto. 	<p style="text-align: center;">Contras</p> <ul style="list-style-type: none"> -Después de la adherencia de la placa de acero es difícil inspeccionar las grietas o el deterioro del concreto. -Se requiere protección a la oxidación de la placa de acero -Se necesita mantenimiento de la corrosión de la placa de acero. -Es difícil observar directamente el progreso de deterioros tipo grietas.

B. Puntos clave del Diseño y Construcción

Material	-La calidad del material de acero esta basada en el AASHTO o ASTM. -Entre el concreto y la placa de acero se inyecta resina epoxica o mortero expansivo
Diseño	-La placa de acero de refuerzo es considerada como refuerzo para momento flexionante, y el diseño es desarrollado miembros de concreto reforzado ignorando la tensión del concreto. La relación del modulo de elasticidad entre la placa de acero y el concreto es de 15 en este caso. -Para el estudio de cortante, la placa de acero adherida al miembro existente se convierte en aros. -el diseño de la placa de acero debe ser en capas considerando la construcción porque la instalación de la placa de acero tiene limitaciones de trabajabilidad y una grúa en algunos casos no puede ser utilizada.
Detalle Estructural	-El espacio entre el concreto y la placa de acero esta establecido de la siguiente manera. Mortero Expansivo : 30mm Resina Epóxica : 5mm -La placa de acero es fijada al concreto usando pernos de anclaje. Estos generalmente son de $\phi 12\text{mm}$ o 16mm con espaciamentos de 500mm o menores. -Hay dos métodos de juntas tales como el soldaje en campo y placas de juntas. Es deseado que se seleccione un método adecuado de acuerdo con las condiciones de construcción.
Construcción	- La secuencia de construcción se muestra en la Figura 7.2.45 -Investigaciones y mediciones de campo son desarrolladas como ventaja, el resultado de esto es la producción del acero de refuerzo. - Cuando se hace un hueco para el perno de anclaje, es importante que ese hueco no dañe al acero de refuerzo existente.

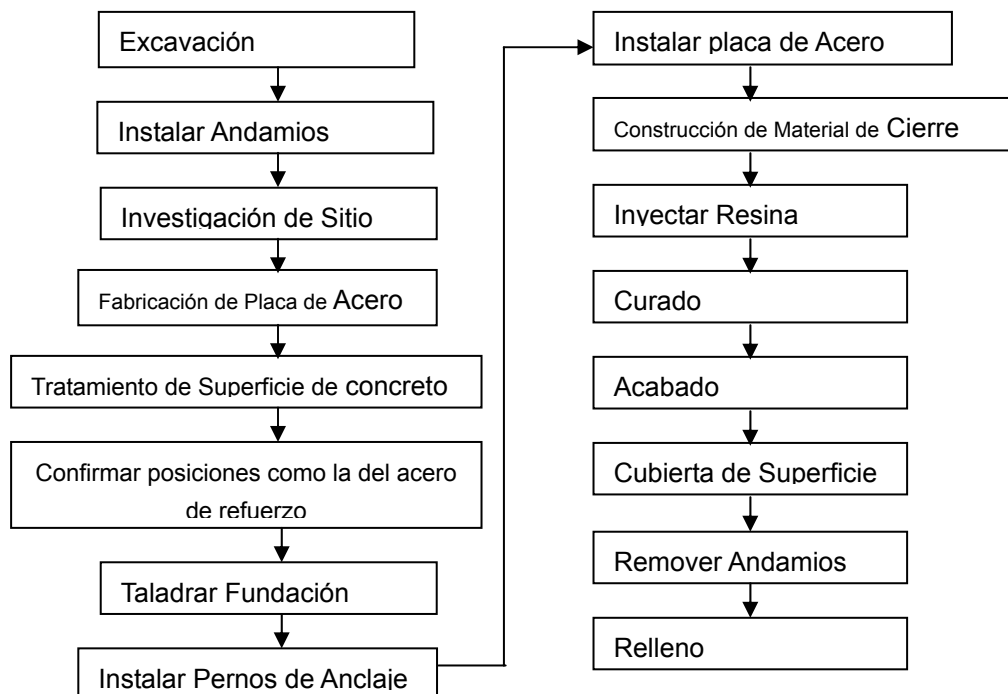
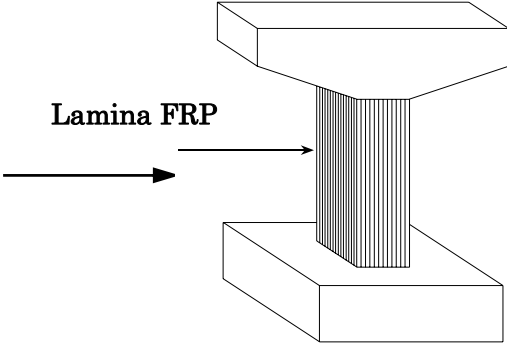


Figura 7.2.45. Proceso de Construcción para Rodear con placa de Acero

(3) Rodear con Láminas de FRP

A. Resumen de éste Método

Resumen	<p>-Forros de Fibra de Carbón (o Aramidfiber) es un método de refuerzo que adhiere Láminas de Fibras de Carbón (o laminas de Aramidfiber) a la circunferencia de concreto con resina epoxica. RPFC (refuerzo plástico de fibras de carbón) esta formado para incrementar la resistencia.</p> <p>-El material de refuerzo es adherido al concreto existente incrementando la resistencia axial como el refuerzo.</p> <p>-La aplicación se dificulta cuando el deterioro de la superficie de concreto es notable la calidad del concreto existente es deficiente.</p> <p>-Las laminas de FRP (fibra de refuerzo plástico) se enrolla y adhiere a lo largo de la superficie de la subestructura con resina epoxica.</p> <p>-Este método tiene efectos de refuerzo cuando la lámina de FRP se unifica con el concreto existente.</p> <p>-Referente a la resistencia a tensión de las laminas de FRP es 8 a 10 veces mayor que la del acero y la densidad del modulo de Young del FRP es menor que el del acero.</p> <p>-Las laminas de FRP no tienen punto de fluencia por lo que su curva de esfuerzo-deformación tiene un comportamiento elástico hasta su ruptura</p>	
Diagrama Esquemático		
Característica	<p style="text-align: center;">Pros</p> <ul style="list-style-type: none"> -Dado a que el material es liviano es fácil de cargar y de trabajar -La construcción puede ser hecha por mano de obra humana -no incrementa la carga muerta y ancho de la subestructura -La lamina de FRP puede fabricarse de cualquier forma -Es efectiva en la impermeabilizacion y protección ante la oxidación del refuerzo 	<p style="text-align: center;">Contras</p> <ul style="list-style-type: none"> -Después de la Adherencia de las Láminas de FRP es difícil inspeccionar las grietas o deterioro en el concreto -Las laminas de FRP son flamables y aptas a ser deterioradas por rayos ultravioleta u ozono -Las laminas de FRO pueden dañarse por accidentes de autos, trabajos de tierras o piedras arrastradas por el río

B. Puntos clave del Diseño y Construcción

Material	<ul style="list-style-type: none"> -Como fibra de refuerzo, la resistencia es de 5 a 10 veces mas en comparación con las barras de refuerzo, la relación esfuerzo deformación es elástica, no hay punto de fluencia y ruptura -Los tipos de fibra son de Carbono, Aramid y Vidrio. -Las fibras de refuerzo son adheridas al concreto existente con resina epoxica. La resina epoxica es usada en la adherencia de varios casos. -El material de refuerzo es adherido en todas las direcciones necesarias porque la fibra de refuerzo tiene dirección como tela o laminas.
Diseño	<ul style="list-style-type: none"> -Para el Diseño, la dirección del esfuerzo debe ser considerada porque las fibras de refuerzo tienen una dirección. -La deficiencia en la cantidad de barras a tensión para momento flexionante es compensada con el principio de refuerzo por fibras. Por el límite de servicio, el material constante del refuerzo de fibras se instala y se aplica la teoría de concreto reforzado normal para el diseño. -El esfuerzo unitario del refuerzo existente debe ser menor al esfuerzo unitario permitido para límites de servicio y menor que el esfuerzo de fluencia en el estado límite. -Para cálculo de cortante, el material constante de la fibra de refuerzo se instala con el mismo modo del cálculo del momento flexionante. La fibra de refuerzo se convierte en aros y ganchos para el diseño. -La variación rígida de los miembros estructurales es menor porque el espesor de la fibra de refuerzo es muy delgado (usualmente, menor a 0.3mm). -Las partes de esquinas para pilas rectangulares proveen un bisel de R50mm y más con el fin de adherir las láminas suavemente.
Detalle Estructural	<ul style="list-style-type: none"> -Es necesaria la longitud suficiente para el anclaje de las fibras de refuerzo. -La longitud de empalme de la fibra de refuerzo es más de 10cm necesitado.
Construcción	<ul style="list-style-type: none"> -La secuencia de construcción se muestra en la Figura 7.2.48. -El tiempo cuando la resina y la fibra continua de FRP varia acorde la resina adhesiva utilizada, temperatura y humedad del trabajo. Es importante un control adecuado de acuerdo con la condición de construcción. -La atención de necesaria por accidentes causados por polvo de fibra, los solventes orgánicos y por el mal olor de la resina de adherencia.

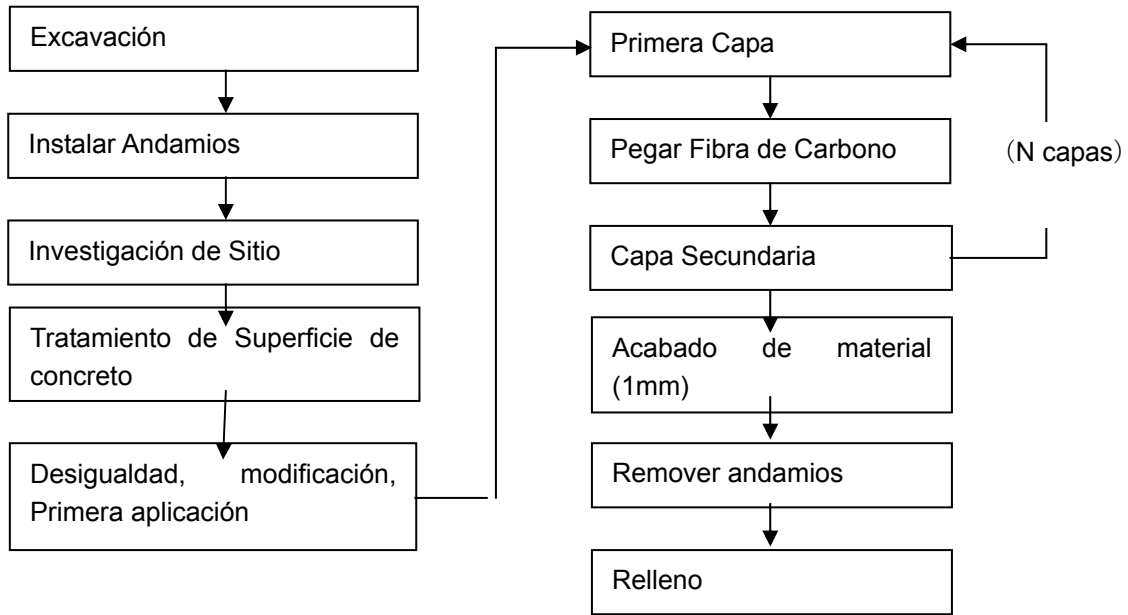


Figura 7.2.46 Proceso de Construcción para Rodear con Láminas de FRP

7.2.8.3 Metodología para Diseño de Refuerzo de Viga y Pila

El refuerzo de la subestructura debe ser basado en el AASHTO o los estándares relevantes y el Factor de Carga de Diseño debe ser aplicado al diseño para el refuerzo de la viga y pila excepto en el caso de refuerzo por láminas de FRP, cuando se selecciona el método de enrollar laminas de FRP se diseña basado en el Capítulo 7.2.1. Refuerzo de Losa por Láminas de FRP. Los puntos claves de diseño se describen abajo.

A la viga y la pila se le revisa la capacidad de carga comparando la fuerza resistente/diseño y fuerzas de trabajo a cerca del momento flexionante y fuerza cortante, la fuerza axial en caso de pilas. La secuencia de refuerzo debe considerarse para juzgar la capacidad de carga.

Primeramente, la nueva carga viva o las cargas de sismo deben ser chequeadas usando el momento, fuerza cortante o fuerza axial resistente/diseño de la sección. Cuando la fuerza resistente de la estructura original es menor que la fuerza de trabajo la subestructura requiere refuerzo.

Sin embargo cuando el valor de fuerza de trabajo excede la fuerza resistente/diseño y se juzga que no afectara el factor de seguridad de la subestructura o esta dentro de un error de análisis, puede ser menor que 10%, no es necesario reforzar la viga o pila.

Cuando la subestructura requiere refuerzo, es importante considerar la secuencia del procedimiento de refuerzo y se debe estimar el tamaño necesario de la estructura.

A este punto el calculo debe haberse terminado considerando lo siguiente

- La carga muerta original esta almacenada por la sección original
- Deben registrarse las cargas muerta adicional como carga muerta de la sección de refuerzo

y cargas de sismo o cargas vivas nuevas para la sección original y la sección adicional. La sección original debe chequearse para los casos de carga muerta original, carga muerta adicional y carga de sismo o nueva carga viva. La capacidad de carga de la viga o pila puede ser juzgada por las ecuaciones 7.2.8.1, 7.2.8.2 and 7.2.8.3

$$\frac{M_{uo}}{\phi M_o} + \frac{M_{ua} + M_{ue}}{\phi M_m} \leq 1.0 \quad \dots\dots\dots(7.2.8.1)$$

$$\frac{\phi V_o}{V_{uo}} + \frac{\phi V_m}{V_{ua} + V_{ue}} \leq 1.0 \quad \dots\dots\dots(7.2.8.2)$$

$$\frac{\phi N_o}{N_{uo}} + \frac{\phi N_m}{N_{ua} + N_{ue}} \leq 1.0 \quad \dots\dots\dots(7.2.8.3)$$

Donde :

- M_{uo} (V_{uo}, N_{uo}) : Momento Flexionante (Fuerza Cortante, Fuerza Axial) causado por la carga muerta original
- M_{ua} (V_{ua}, N_{ua}) : Momento Flexionante (Fuerza Cortante, Fuerza Axial) causado por carga muerta adicional
- M_{ue} (V_{ue}, N_{ue}) : Momento Flexionante (Fuerza Cortante,) causado por cargas de sismo o nuevas cargas vivas
- ϕM_o ($\phi V_o, \phi N_o$) : Momento Resistente de Diseño (fuerza cortante) para sección original
- ϕM_m ($\phi V_m, \phi N_m$) : Momento Resistente de Diseño (fuerza cortante) para sección modificada (Sección Original + Sección Reforzada)

7.2.9 Fundaciones

7.2.9.1 Generalidades

Las cargas de trabajo que afectan el desarrollo seguro de las fundaciones son:

- Carga Muerta,
- Carga Viva,
- Presión de Tierra,
- y Carga de Sismo

Dado a que la fundación se vera afectada especialmente por carga de sismo, se debe evaluar la estabilidad ante volcamiento o deslizamiento y su capacidad de carga

Generalmente las cargas de sismo y la socavación afectan en el desempeño de la fundación, las cargas de sismo afectan la directamente la estabilidad de la fundación por volcamiento y deslizamiento.

Por otro lado la socavación afecta el cauce del río alrededor de la pila y su influencia será grande afectando la estabilidad de la fundación, por ejemplo los pilotes pueden sobresalir del terreno dándose el alabeo de pilotes y el cauce del río alrededor de la punta de la fundación se vera excavado deteriorando la capacidad de carga de la fundación, el crecimiento de este fenómeno depende de las condiciones del río, como velocidad, descargas, el plano del río, localización del puente, condición del suelo en el cauce, etc. y este fenómeno ha crecido lentamente en algunos casos. Además se requiere la información amplia sobre el terreno en la inspección de la socavación para realizar juicio de socavación o predecir la influencia de esta.

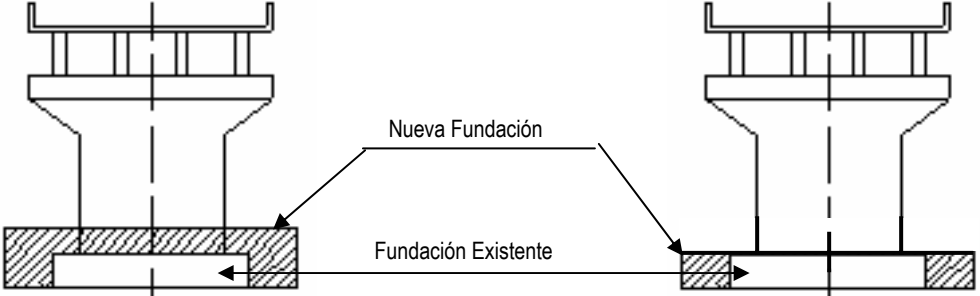
7.2.9.2 Método de Refuerzo

1) Refuerzo de la Fundación

El método de refuerzo generalmente sigue el método siguiente.

(1) Aumento de la Fundación

A. Resumen de éste Método

Resumen	Se debe aumentar la fundación al tamaño requerido calculado por las cargas de sismo de acuerdo a los estándares relevantes. Hay 2 tipos de fundaciones nuevas una es expandir en las dos direcciones y la otra es incrementar también el espesor. En ambos casos la fundación nueva se debe conectar con la existente por medio de barras de anclaje o preesfuerzo. Refiriéndose a socavación es requerida una nueva protección	
Diagrama Esquemático		
Característica	<p style="text-align: center;">Pros</p> <ul style="list-style-type: none"> - Se incrementa la capacidad de carga de la fundación -Se incrementa también la capacidad de carga de la pila porque la altura de la pila se reduce. 	<p style="text-align: center;">Contras</p> <ul style="list-style-type: none"> -Cuando la fundación esta dentro del río o muy profunda el proceso de construcción del refuerzo de la fundación se torna largo y esto puede afectar las condiciones del río.

(b) Puntos Clave de Diseño y Construcción

Material	Este método es igual a un trabajo en concreto general La nueva fundación y la existente son conectadas por barras de anclaje
Diseño	<ul style="list-style-type: none">-Cuando se diseña el refuerzo de la fundación hay dos (2) puntos para estimar el desempeño de ella, uno es por la estabilidad de la fundación, como el volcamiento y el deslizamiento, y el otro es la capacidad de carga de la estructura, como el momento resistente y la fuerza cortante. El nuevo tamaño de fundación debe satisfacer esos requerimientos (Figura 7.2.47.).-Es importante estudiar la capacidad de carga de la fundación existente y después calcular el tamaño necesario de la fundación.-La fundación existente debe resistir la carga muerta de las estructuras existentes y después el incremento de la carga muerta y las cargas de sismo serán resistidas por la nueva parte de la fundación y la parte existente en conjunto.-El procedimiento de construcción se debe considerar para el diseño de refuerzo-Se deben considerar las medidas ambientales cuando los trabajos de la fundación son dentro del río-Se debe chequear si la fundación es poco profunda después del refuerzo y si es menos de 2m se debe operar contramedidas para la socavación
Detalle Estructural	Esta estructura es como una fundación normal
Construcción	<ul style="list-style-type: none">- Es importante tener cuidado de inundaciones o incrementos del nivel de agua para mantener la seguridad de las condiciones de trabajo- Es necesario considerar las condiciones ambientales o los requerimientos, si es necesario tomar contramedidas ambientales se deberían planear antes de comenzar la construcción.-La secuencia de construcción se muestra en la Figura 11.7.2.

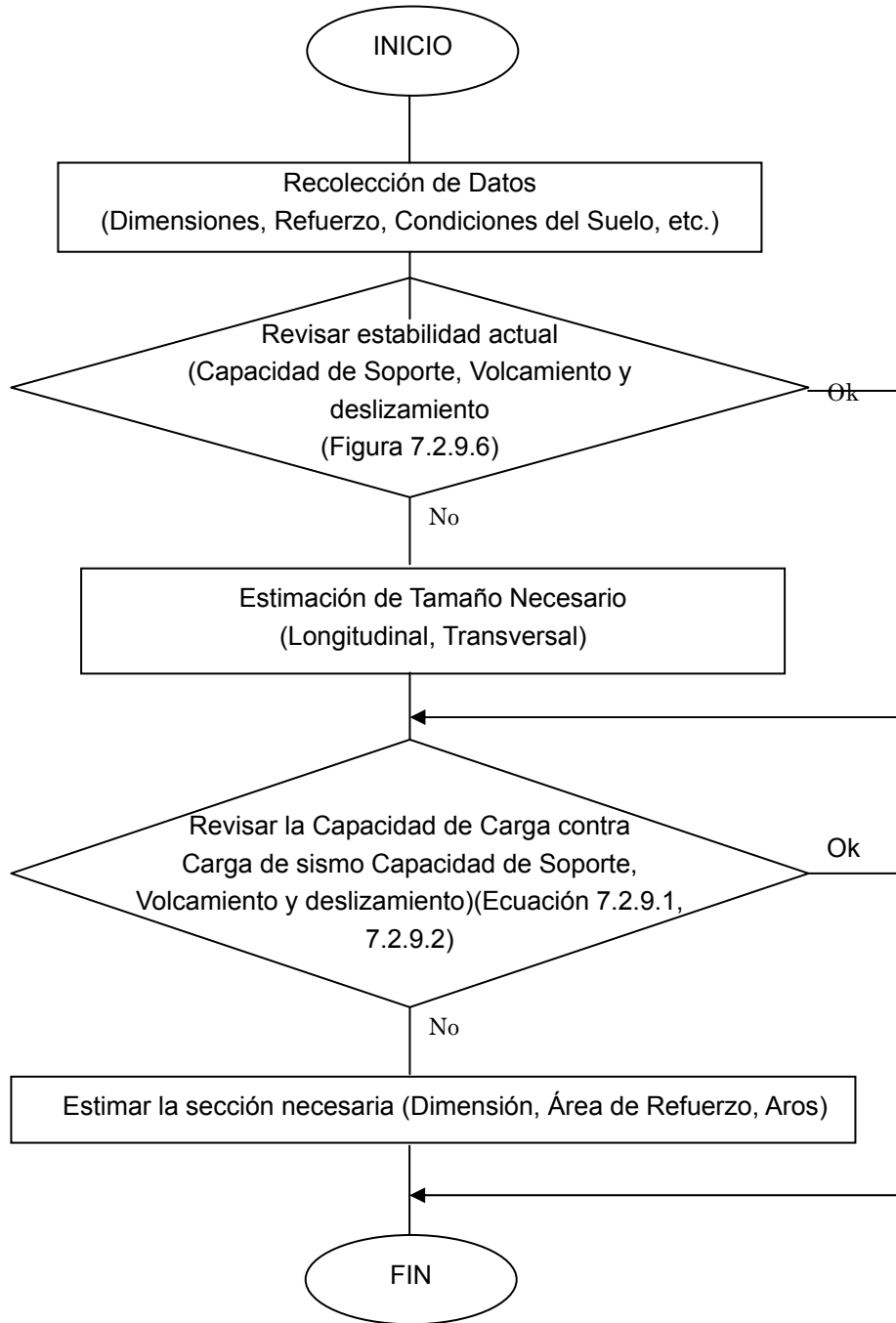


Figura 7.2.47. Proceso de Diseño de Aumento de Fundaciones

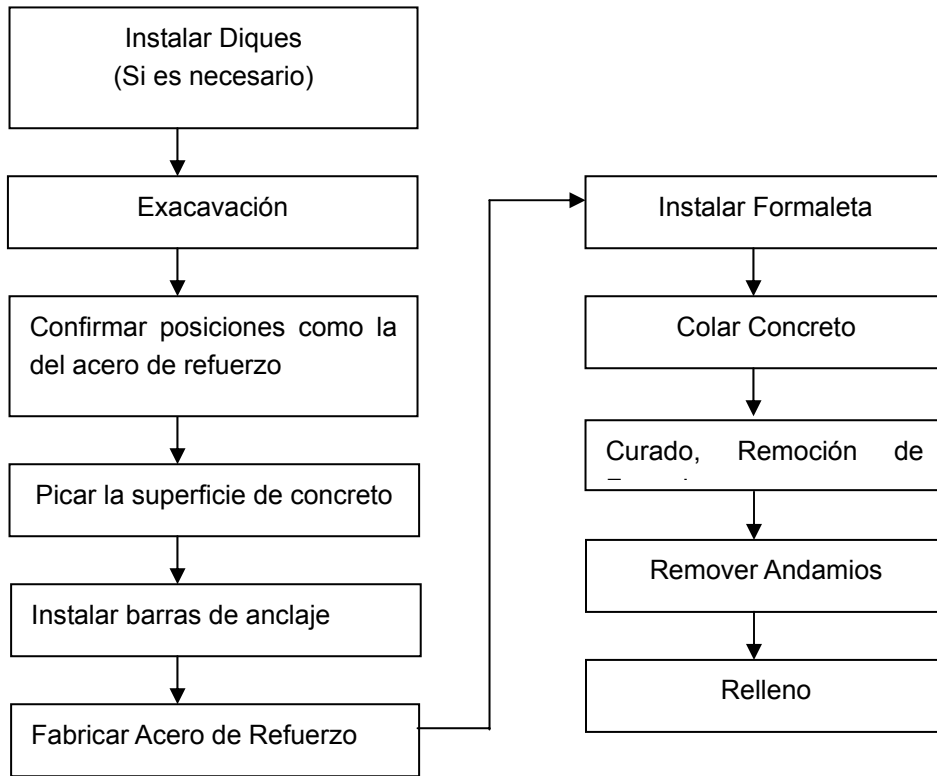
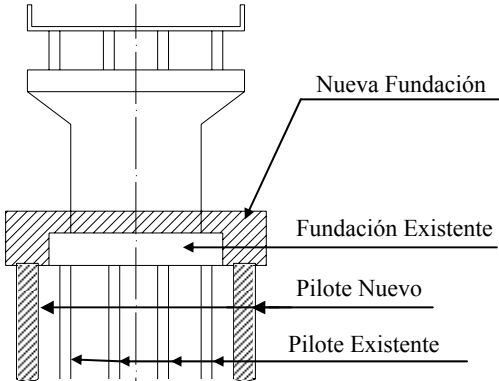


Figura 7.2.48. Proceso de Construcción para Aumentar Fundación

(2) Incremento del Número de Pilotes

A. Resumen de éste Método

Resumen	<p>Se construyen nuevas fundaciones y pilotes en el sitio alrededor de la fundación existente con el fin de incrementar la capacidad de carga ante cargas de sismo. El número de pilotes debe ser calculado de acuerdo a los estándares relativos.</p> <p>Nuevas fundaciones serán construidas como cubiertas de las existentes y conectadas con estas por medio de barras de anclaje.</p> <p>En algunos casos el espesor de la fundación también se incrementa.</p> <p>Refiriéndose a socavación es requerida una nueva protección</p>	
Diagrama Esquemático	 <p>El diagrama muestra una sección transversal de un puente. Una columna central descansa sobre una 'Fundación Existente' (representada por un rectángulo hachurado). Una 'Nueva Fundación' (rectángulo sólido) se construye encima de la existente, rodeando la columna. Debajo de la nueva fundación se agregan 'Pilote Nuevo' (pilotes adicionales). Los pilotes originales se etiquetan como 'Pilote Existente'. Flechas indican la extensión de los pilotes nuevos y existentes.</p>	
Característica	<p style="text-align: center;">Pros</p> <ul style="list-style-type: none"> - Se incrementa la capacidad de carga de la fundación -Se incrementa también la capacidad de carga de la pila porque la altura de la pila se reduce. 	<p style="text-align: center;">Contras</p> <ul style="list-style-type: none"> -Cuando la fundación esta dentro del río o muy profunda el proceso de construcción del refuerzo de la fundación se torna largo y esto puede afectar las condiciones del río. - La etapa de inca de pilotes debe ser dentro del río. - Cuando el claro de la superestructura no es el suficiente, los pilotes adicionales no pueden ser hincados bajo el puente por lo que el diseño queda limitado.

B Puntos Clave de Diseño y Construcción

Material	Este método es igual al de una fundación de pilote general. Es mejor que el material para los nuevos pilotes se el mismo que el de los existentes y que la nueva fundación este conectada a la existente por medio de barras de anclaje
Diseño	<ul style="list-style-type: none">- Los pilotes y la fundación deben ser diseñados para tener la suficiente capacidad de carga ante carga de sismo de acuerdo a estándares relativos, como el AASHTO.- Es importante estudiar la capacidad de carga de la fundación existente y después el número de pilotes y la nueva fundación será calculada (Figura 7.2.49).- La fundación existente debe resistir la carga muerta de las estructuras existentes y después el incremento de la carga muerta y las cargas de sismo serán resistidas por la nueva parte de la fundación y la parte existente en conjunto- procedimiento de construcción se debe considera para el diseño de refuerzo-Se deben considerar las medidas ambientales cuando los trabajos de la fundación son dentro del río-Se debe chequear si la fundación es poco profunda después del refuerzo y si es menos de 2m se debe operar contramedidas para la socavación
Detalle Estructural	Esta estructura es como una fundación normal
Construcción	<ul style="list-style-type: none">- Es importante tener cuidado de inundaciones o incrementos del nivel de agua para mantener la seguridad de las condiciones de trabajo- Es necesario considerar las condiciones ambientales o los requerimientos, si es necesario tomar contramedidas ambientales se deberían planear antes de comenzar la construcción.-La secuencia de construcción se muestra en la Figura 7.2.50.

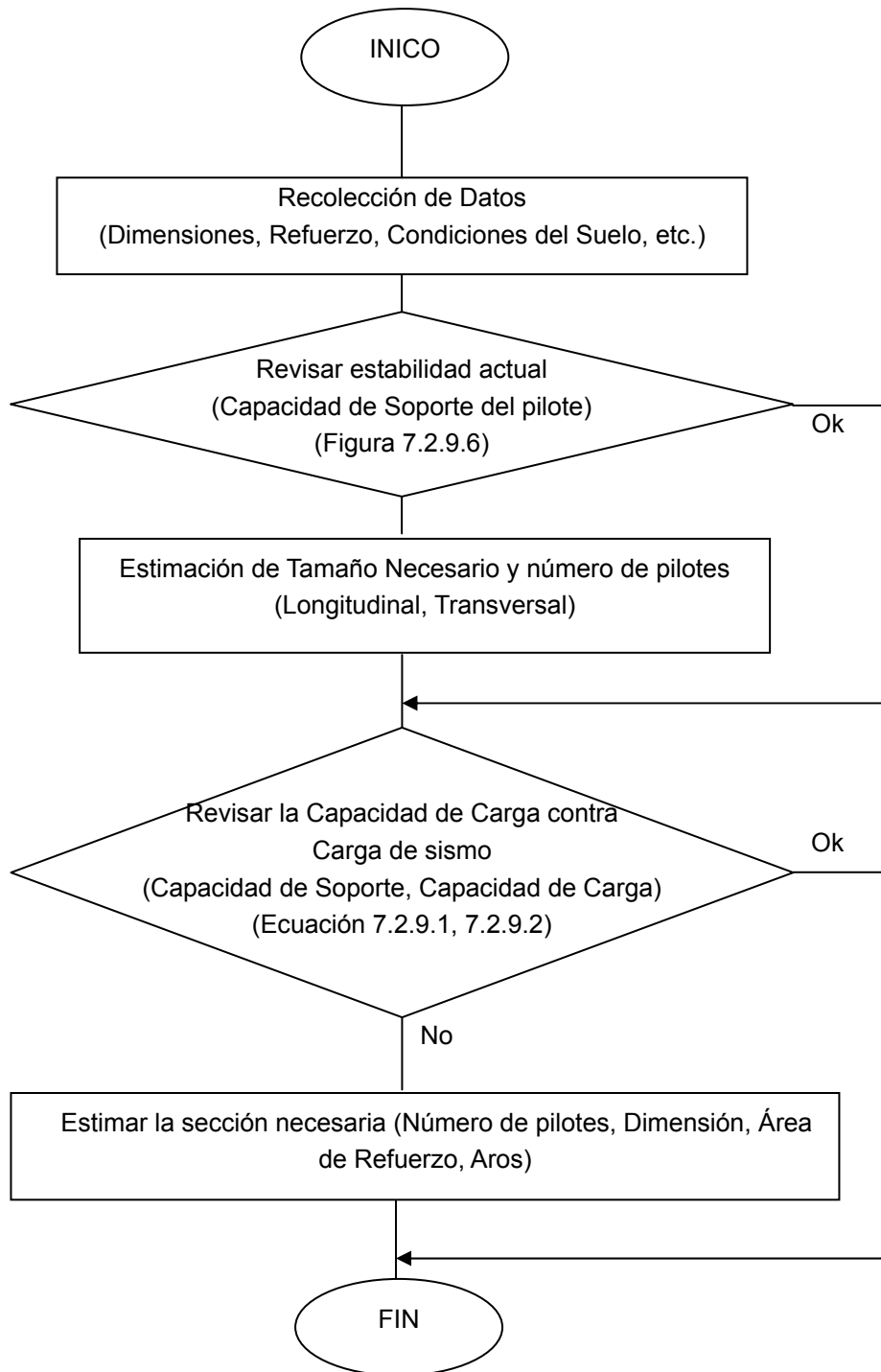


Figura 7.2.49. Proceso de Diseño de Incremento de Número de Pilotes

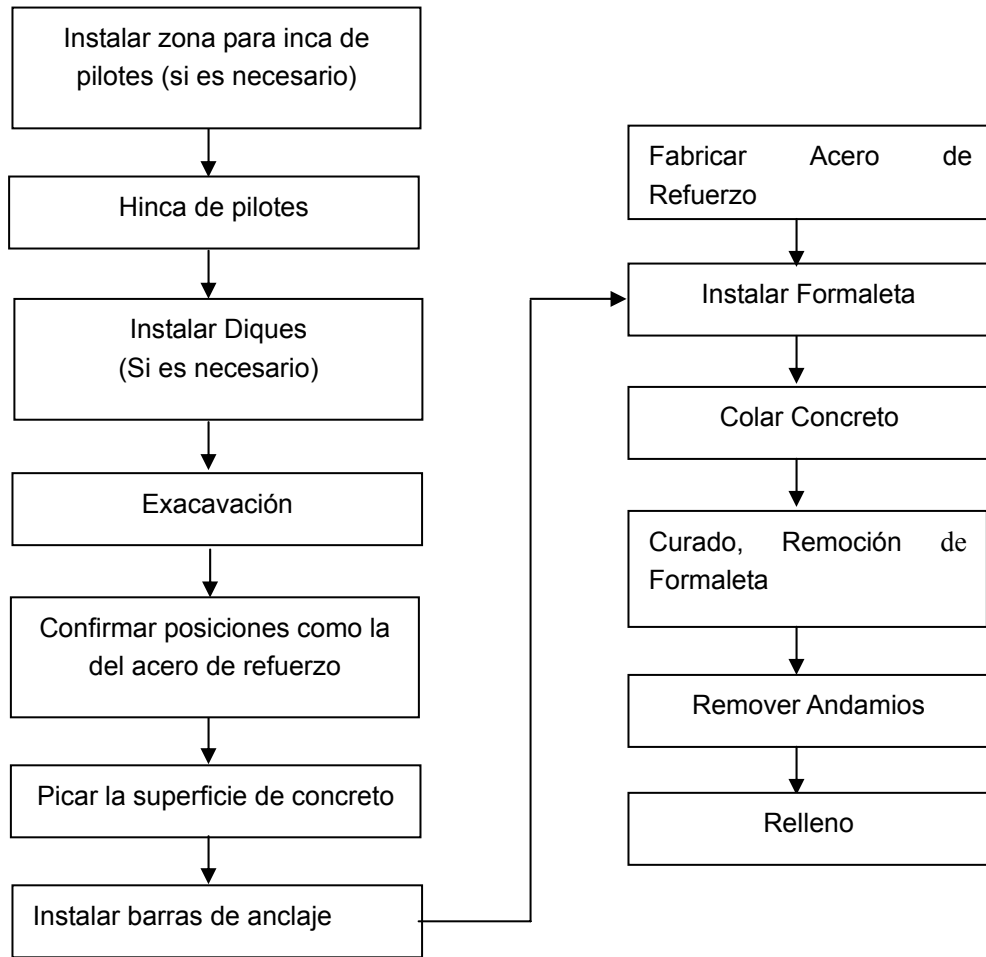


Figura 7.2.50. Proceso de Construcción para Incrementar Número de Pilotes

(3) Cambio de la Condición de Soporte

A Resumen de éste Método

<p>Resumen</p>	<p>La condición de soporte debe ser cambiada para distribuir la carga de sismo a otras subestructuras o ser resistidas por otras subestructuras, por ejemplo cambiar de un apoyo fijo a dos apoyos fijos instalando estructuras que Limiten el Exceso de Desplazamiento.</p> <p>Este método es un método subsidiario de los dos métodos anteriores, como “Aumento de Fundaciones” o “Incremento del Número de Pilotes”.</p>	
<p>Diagrama Esquemático</p>		
<p>Característica</p>	<p>Pros</p> <ul style="list-style-type: none"> -Este método reduce la fuerza sísmica en subestructuras críticas. -Dado a que este trabajo es alrededor del soporte se puede realizar al mismo tiempo del trabajo de Sistema de Prevención de Asiento. 	<p>Contras</p> <ul style="list-style-type: none"> - La superestructura o subestructura que no es crítica puede que requiera del método. - Se requiere análisis cuidadoso

B. Puntos Clave de Diseño y Construcción

Material	El material es el mismo que se emplea para el Sistema de Prevención de Asientos
Diseño	- Se requiere un modelo de análisis completo. - Es necesario estudiarlo en consideración de la estructura de Sistema de Prevención de Asientos
Detalle Estructural	- La estructura es básicamente la del Sistema de Prevención de Asientos
Construcción	- El método es básicamente el del Sistema de Prevención de Asientos

4) Método de Contramedida de Socavación

Hay tres (3) tipos de fenómeno referente a socavación y se mencionan a continuación

- (a) Degradación y aumento del cauce del río a largo plazo
- (b) Socavación general del puente
- (c) Socavación local en pilas y bastiones

Entre esos fenómenos, en el caso del (b), “Socavación General del Puente”, y el (c), “socavación Local en Pilas y Bastiones” es importante llevar a cabo inspecciones frecuentes y trabajos de mantenimiento a un debido tiempo. Más aun, es una acción importante detener la extracción de material del cauce aguas arriba del puente.

Además, los pilotes que se proyectan desde el cauce del río por la razón 8 (a), “Degradación y aumento del cauce del río a largo plazo” se muestran en la Foto 7.2.1 deben considerar con el mantenimiento del río.

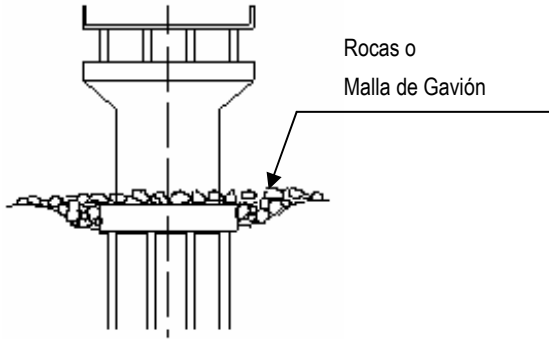
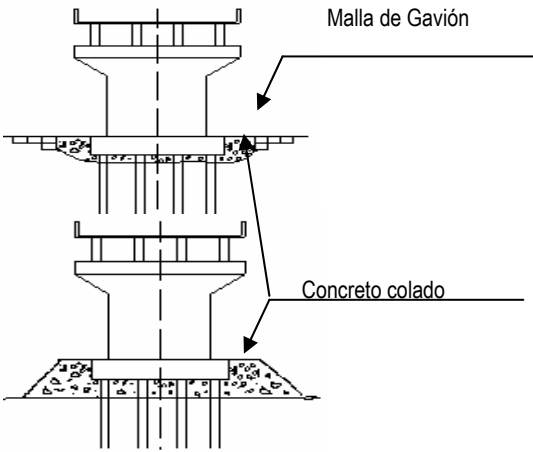
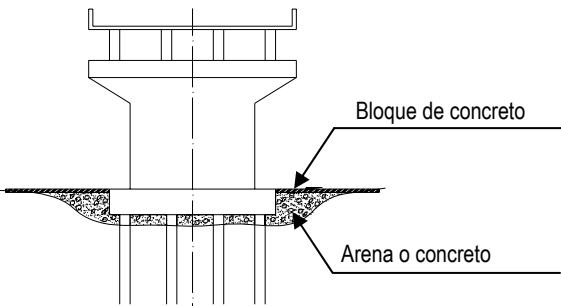
El método de medida contra la socavación se muestra en la Tabla 7.2.17 difiere del otro en uso de materiales y escala de la socavación

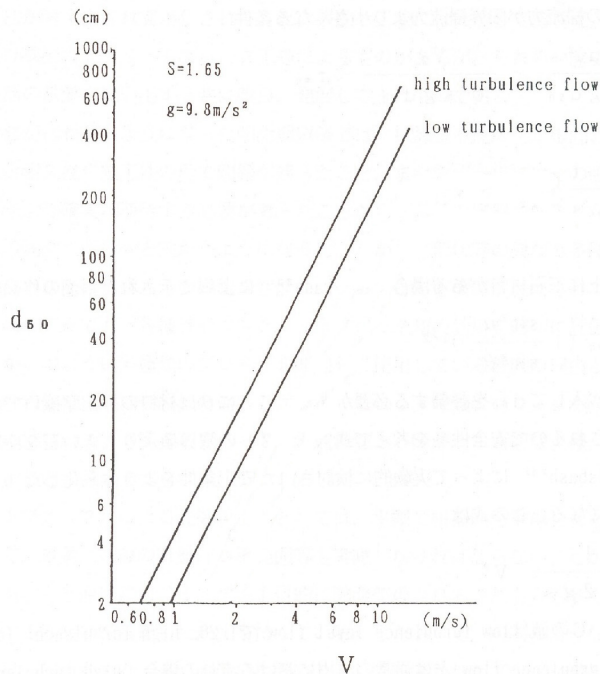
Cuando se lleva a cabo la contramedida en el sitio, es importante que el nivel de relleno o el bloque de concreto sea el mismo que el nivel original del cauce del río antes de la socavación excepto en el caso de “Degradación y aumento del cauce del río a largo plazo” que fue mencionado arriba, porque el nivel de relleno o bloque de concreto es mayor al del original a causa de la socavación.

<p>Río Nuevo (No.16)</p>		
<p>Río Torres (No.29)</p>		

Foto.7.2.1. Caso de Proyección de los Pilotes desde el Cauce del Río

Tabla 7.2.17. Método de Contramedida ante Socavación

Material	Ilustración	Comentarios
Piedras Grandes y Gaviones		<ul style="list-style-type: none"> - Esta medida es aplicada en el caso de velocidades lentas o cuando el cauce del río es arcilloso o suelto dado a que la forma puede ser cambiada flexiblemente de acerado al cauce. - Este método es aplicado como medida temporal cuando la velocidad es rápida o hay muchas rocas de gran tamaño. Sin embargo la velocidad determinara el tamaño de la piedra. Una proposición es la relación entre la velocidad y el tamaño de la roca mostrado en la Figura 11.7.3 - Este método es económico y fácil de construir - Se requiere de mantenimiento continuo como inspecciones frecuentes y obras de mantenimiento.
Protección Colando concreto		<ul style="list-style-type: none"> - Esta medida es aplicada en el caso de velocidades alta - La malla de Gavión debe instalarse para prevenir socavación de la zona de concreto colado - El cauce será estabilizado por el peso del concreto colado, el concreto puede tener grietas. - El concreto colado en sitio requiere la construcción de diques. Este meto debería emplearse en temporada seca. - Dado a que el concreto se vierte directamente en el hueco, se necesitan de regulaciones ambientales.
Protección por bloque de concreto prefabricado		<ul style="list-style-type: none"> - Esta medida se aplica en todo caso, sin embargo la velocidad determinara el tamaño del bloque. Una proposición es la relación entre la velocidad de flujo y el peso o tamaño de la piedra como se muestra en la figura 7.2.51. y la Tabla 7.2.18 - El hueco de la socavación se llena con arena o concreto y los bloques de concreto están unidos al cauce del río. - Este es el método más efectivo ante la socavación para ríos arenosos o rocosos.



Fuente: Nota Técnica del Instituto de Investigación de Obra Pública No. 3225 “Estudio de la influencia de las Pilas en la vista de control de flujo” Noviembre 1998

Figura 7.2.51. Relación entre Tamaño de la Piedra y Velocidad

Tabla 7.2.18. Relación entre el Peso del Bloque de Concreto y la Velocidad

Forma del Bloque de Concreto	Peso del Bloque (ton)	Máxima Velocidad de Movimiento del Bloque de Concreto (m/sec)
Tipo plana	1.02	3.31
	2.012	3.7
	3.036	3.97
	4.014	4.15
	5.025	4.31

Fuente: Nota Técnica del Instituto de Investigación de Obra Pública No. 3225 “Estudio de la influencia de las Pilas en la vista de control de flujo” Noviembre 1998

7.2.9.3 Metodología para Diseño de Refuerzo de Fundación

El refuerzo para la fundación debe ser diseñado basándose en el AASHTO o estándares relevantes y el Factor de Carga de Diseño debe ser aplicado al diseño del refuerzo de la fundación. Y el diseño debe cumplir con el procedimiento siguiente.

1) Revisar la Estabilidad de la Fundación

Se debe revisar la estabilidad de la fundación en principio cuando se practica del refuerzo de la fundación.

En caso de fundaciones aisladas deben ser revisadas sobre tres tipos de factor de escala, uno es la capacidad de soporte del suelo, otro es la condición de volcamiento de la subestructura juzgada por su excentricidad, determinada por la distancia entre el centro de la fundación y el punto de aplicación de la resultante de fuerza, el ultimo factor el de deslizamiento.

Para el caso de fundaciones de pilotes se deben juzgar la reacción del pilote y su capacidad de carga.

Cuando la fundación existente no satisface los factores de estabilidad anteriores para fundaciones aisladas o la reacción de pilotes o capacidad de carga del pilote es menor a la fuerza de trabajo, es necesario variar el tamaño de la fundación o el número de pilotes y se deben estimar las filar de pilotes de las fundaciones.

A este punto el cálculo debe estar terminado considerando los siguientes puntos

- La carga muerta original es almacenada por las fundaciones originales
- La carga muerta adicional que es la carga muerta de la sección de refuerzo o la carga de sismo debe registrarse por medio de la fundación original y la sección adicional

Además, la parte original y la nueva deben ser calculadas y chequear si satisfacen o no los requerimientos. La parte original registra especialmente ambos casos por lo que su reacción debe ser combinada (Figura 7.2.52).

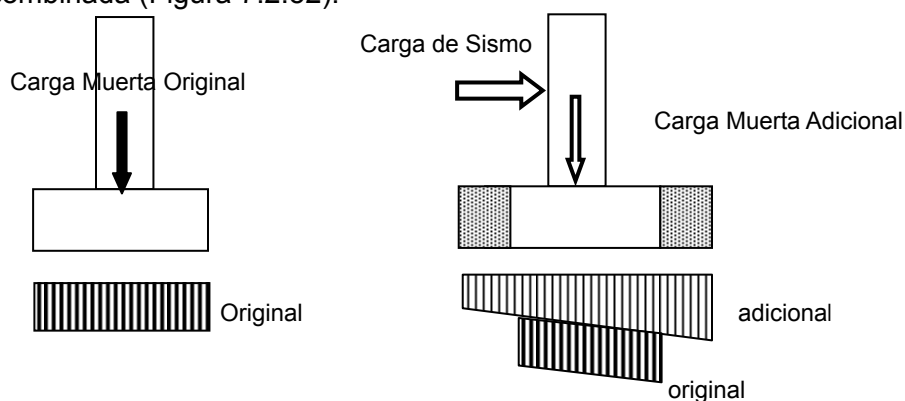


Figura 7.2.52. Juicio de Capacidad de Carga

Sin embargo, cuando el valor del resultado del cálculo excede la capacidad de soporte, el factor de seguridad o la fuerza de resistencia es más pequeña y se cree que no afecta la estabilidad de la fundación o esta dentro de su error de análisis menor del 10%, y no es necesario reforzar la fundación.

2) Revisar la Capacidad de Carga

Después de estimar el tamaño de fundación necesario o el número de pilotes y filas de ellos, se debe chequear la capacidad de carga de la fundación de acuerdo con el método de Factores de Carga de Diseño.

La capacidad de carga de la fundación fue revisada comparando la resistencia/fuerza de diseño y la fuerza de trabajo al momento flexionante y fuerza cortante. En este momento también debe considerarse la secuencia de refuerzo como la misma para la estabilización de la fundación.

La carga muerta original es absorbida por la fundación original y la carga muerta adicional es la carga muerta de la sección de refuerzo, la carga de sismo debe absorberse por medio de ambas secciones.

Se debe chequear la sección original para los casos de carga muerta original, carga muerta adicional y carga de sismo. Se puede evaluar la capacidad de carga de la fundación por medio de la Ecuación 7.2.9.1 y 7.2.9.2

$$\frac{M_{uo}}{\phi M_o} + \frac{M_{ua} + M_{ue}}{\phi M_m} \leq 1.0 \quad \dots\dots\dots(7.2.9.1)$$

$$\frac{V_{uo}}{\phi V_o} + \frac{V_{ua} + V_{ue}}{\phi V_m} \leq 1.0 \quad \dots\dots\dots(7.2.9.2)$$

donde:

- M_{uo} (V_{uo}) : Momento Flexionante (Fuerza Cortante) causado por la carga muerta original
- M_{ua} (V_{ua}) : Momento Flexionante (Fuerza Cortante) causado por la carga muerta adicional
- M_{ue} (V_{ue}) : Momento Flexionante (Fuerza Cortante) causado por la carga de sismo
- ϕM_o (ϕV_o) : Momento Resistente de Diseño (fuerza cortante) para sección original
- ϕM_m (ϕV_m) : Momento Resistente de Diseño (fuerza cortante) para sección modificada (Sección Original + Sección Reforzada)

7.2.10 Accesorios

Este Capitulo describe los accesorios de puentes como los siguientes:

- 1) Pavimento Asfáltico
- 2) Impermeabilización de la Losa
- 3) Juntas de Expansión

Estos accesorios son partes de puente muy importantes. El propósito de estas estructuras se muestra en la Tabla 7.2.20. hay una cercana conexión entre cada una especialmente entre el pavimento asfáltico y la impermeabilización que deberían diseñarse juntas

Tabla 7.2.19. Propuesta de Accesorios

Tipo de Accesorio	Propuesta
Pavimento Asfáltico	El pavimento asfáltico es la capa superficial o el material aplicado sobre la losa de concreto para proveer una superficie de ruedo suave y proteger la losa de efectos del tráfico, agua y acciones químicas. Se coloca sobre la losa de concreto y debe colocársele una membrana impermeable entre el concreto y el asfalto
Impermeabilización de la Losa	La protección al agua es la segunda capa aplicada a la losa de concreto para mejorar la impermeabilización de la losa de concreto. Es el sistema mas importante para extender la vida útil de la losa Cuando la losa de concreto es reforzada con la adherencia de láminas de FRP estas pueden ser concebidas como membranas impermeables.
Juntas de Expansión	La función primaria de las juntas de loses acomodar a la expansión o contracción de la superestructura. En la mayoría de los puentes, las juntas de losa se acomodan al movimiento y previenen el desempate de los elementos de puente debajo de la superficie de la losa. Es mas, las juntas de losa proveen una transición suave de las vías de aproximación al puente. La junta de losa debe estar habilitada para resistir cambios extremos en las condiciones climáticas. Debe hacer todo esto sin comprometer la calidad de manejo de los vehiculos que cruzan el puente.

1) Pavimento Asfáltico

El material mas común para sobre capas es la losa de concreto es el asfalto. Las sobrecapas de asfalto generalmente andan entre 25mm (1pulg) y 63mm (2 ½ pulg.), dependiendo de la severidad de la reparación y la capacidad de carga de la superestructura.

Cuando se coloca el asfalto sobre el concreto, se puede aplicar primero una membrana impermeable para proteger el refuerzo de concreto de los efectos adversos de los químicos de deshielos de agua soportada, la cual pasa el la capa de concreto asfáltico permeable. No todos los intentos de proveer una membrana impermeable son exitosos.

La mayoría de los puentes de Costa Rica no han sido pavimentados con concreto asfálticos, es esperado encontrar concreto. Sin embargo, la superficie de losas de concreto ha sido

dañada/deteriorada por tráfico pesado o condiciones climáticas severas. Por lo tanto, los puentes deben ser pavimentados con concreto asfáltico con un espesor de 50mm (2 pulgadas) incluso si estos tienen una cubierta de concreto.

Algunos puentes ya están pavimentados, en estos casos la condición del pavimento asfáltico se debe inspeccionar periódicamente, la Tabla 11.4.2. muestra el tipo de daño en el pavimento asfáltico y el método de reparación.

Tabla 7.2.20. Daños en el Pavimento Asfáltico y Contramedidas

Daño		Problema	Corrección	Prevención
Grietas	Cocodrilo o Mapa de Grietas	-Estas son grietas interconectadas formando una serie de bloques asemejando a la piel de cocodrilo o cedazo. -El agrietamiento tipo cocodrilo es causado por la deflexión excesiva de la superficie sobre una losa inestable o por el secado del material asfáltico.	- La superficie se debe remover bajo la losa -El curso de la superficie debería cambiar de dirección abajo para la cubierta y extendiéndose lateralmente en el curso atinado de la superficie. - Cortar cuadrangular o rectangularmente con caras rectas y verticales	-Detección temprana y reparación de defectos menores es lo más importante. -Grietas y otros defectos que en etapas primeras fueron casi indetectables se pueden desarrollar en defectos serios si no son reparadas -Por estas razones una inspección resiente de la superficie debe hacerse - En todos los casos superficie, es mejor determinar primero la causa o las causas de la dificultad. Luego la reparación puede hacerse no sólo para corregir el daño sino impedir o retardar su suceso otra vez
	Desprendimiento	-La creciente formación de grietas causada por una falta de buena adherencia entre la superficie y debajo de la losa.	-Reparar la losa como se ha descrito en otras partes del capítulo -Aplicar una capa ligante a la capa expuesta de la losa y las caras verticales -Adherir una densa capa de asfalto caliente mezclado en planta y compactar al nivel de la superficie aledaña	
	Grietas de borde	-Estas son grietas longitudinales cerca del borde de la losa, usualmente ocasionadas por la falta de soporte lateral o el secado del asfalto o el deterioro de la losa de concreto	-Las grietas de borde y las grietas de reflexión se deben limpiar con una escobilla de aire comprimido. -Rellenar (no sobre bordar) con emulsión de agregado o asfalto líquido mezclado con arena.	
	Senda de Junta de Grietas	-Las sendas de juntas de grietas están separadas longitudinalmente a lo largo de la fila entre dos filas de pavimento, causado por una junta débil.	-Cuando se cura, se debe sellar con asfalto líquido y rosear la superficie con aserrín o arena seca para prevenir que se levante con el tráfico.	
	reflexión de Grietas	-Estas son giritas en la sobrecapas de asfalto que reflejan el patrón de las grietas por debajo en la losa		

	Grietas de Contracción	Las grietas de contracción están interconectadas formando una serie de grandes bloques, a menudo se dificulta determinar si las grietas son causadas por el cambio de volumen en el asfalto o por agrietamiento en la losa.	La reparación de Grietas por contracción debe ser llenando las grietas con emulsión asfáltica seguido del tratamiento a la superficie o el sello sobre toda la superficie	
--	------------------------	---	---	--

Daño		Problema	Corrección	Prevención
Distorsión	Canales (Surcos)	-Son canales que tal vez se desarrollan por las ruedas de los caminos -Se pueden dar por la consolidación o el movimiento lateral de la superficie bajo tráfico, o bajo ruedas con vestimenta de clavos	-Los canales y el grado de reparación de la depresión deben de determinar los límites de los canales con una regla – -Aplicar una cubierta liviana y esparcir el concreto asfáltico denso en los canales con un pavimentador. Asegurese de que el material sea ligero en los bordes. -Compactar con rodillo neumático. -Después coloque un sello de arena sobre el área para prevenir la filtración de agua sea cuidadoso de no aplicar mucho asfalto	
	Grado de Depresiones	-Las depresiones están localizadas en áreas bajas de tamaños limitados acompañadas o no de giritas -Estos “pozos” no son solo un deterioro de la superficie pero un peligro para los motorizados		
	Corrugación (Empujes)	-Las corrugaciones son una forma de movimiento plástico tipificado por ondas a través de la superficie del asfalto usualmente ocurren en las superficies que carecen de estabilidad. -Pueden aparecer como abultamientos con la porción curva apuntando en la dirección del tráfico tal como se muestra en las grietas o en los bultos.	Las corrugaciones , los empujes y los levantamientos deberían ser reparados parecido a grietas del lagarto	

	Levantamientos	-Los levantamientos se localizan en un desplazo superior de la superficie debido la expansión de la losa que se encuentra por debajo		
Desintegración	Hoyos	-Estos hoyos de forma de tazón de varios tipos en la superficie son resultado de la desintegración localizada	-Los hoyos deben ser reparados a las grietas de piel de cocodrilo	
	Desmorone	-esta es una separación progresiva de las partículas de agregados en la superficie, usualmente son el resultado de una técnica pobre de construcción incluyendo un mal concreto asfáltico	-para prevenir el desmoronamiento se barre la superficie para que quede sin polvo y sin agregado suelto. Se aplica una capa de emulsión asfáltica después de que el sello sea curado aplicar un tratamiento sobre la superficie	

2) Impermeabilización de la losa

(1) Generalidades

Existe la posibilidad de que la losa se deteriore por corrosión en el acero de refuerzo o deterioro en el concreto por la penetración de agua desde la superficie del pavimento. En especial la losa alrededor de soportes intermedios en puentes continuos, esta es la parte a tensión y parte de conexión de concreto prefabricado, pueden ser puntos débiles para la filtración de agua, es bueno que se impermeabilice.

(2) Material

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

Membrana Auto-Adherida : Esta es una membrana de refuerzo de poliéster de alta resistencia con componentes de hule/bituminosos, la cual se aplica en frío. Una capa de base bituminosa y recubierta se aplica sobre la membrana

Membrana impermeabilizante líquida : Este es un compuesto de dos componentes, que son mezclados simplemente en el campo para producir una

mezcla viscosa la cual trata la membrana impermeable elastomérica.

Este método es empleado para retardar las grietas reflectivas y proveer impermeabilización.

(3) Desempeño Requerido de la Impermeabilización

Restringir el deterioro de la losa y no afectar la losa y el pavimento requiere del siguiente desempeño de la impermeabilización:

- Desempeño del Impermeabilizante
- Desempeño a no desprenderse la cubierta del pavimento
- Desempeño en interceptor sales
- Desempeño para seguir la variación en grietas
- Desempeño en drenaje

(4) Diseño

Cuando se diseña la impermeabilización de una nueva losa se debe considerar:

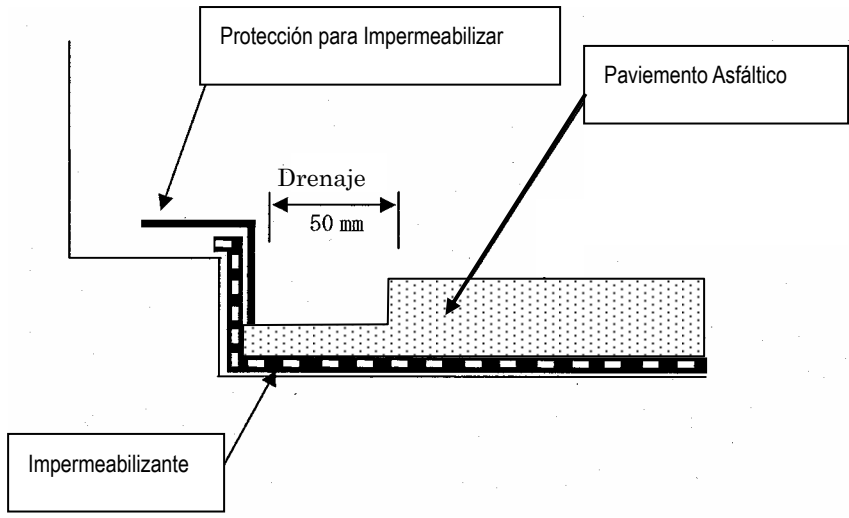
- - Restringir que el deterioro vaya hacia la losa y afecte el desempeño
- - Posibilidad de que se deteriore después de vencido la vida útil.

Para las losas existentes, las transformaciones deben ser objetivo de inspección y deben de clarificarse lo más posible cual es la causa del defecto inicial de transformación, el daño y el deterioro y la razón principal de la transformación y después se debe hacer el plan de impermeabilización.

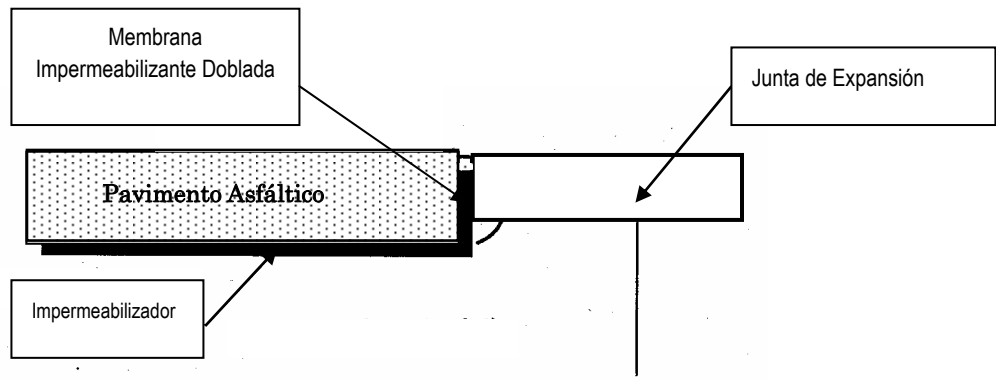
En el caso de losas de concreto prefabricado se requieren impermeabilizar las juntas para prevenirla de la filtración de agua.

La membrana impermeable debe doblarse en el borde y en los drenajes debe instalarse al borde de la vía.

La Figura 7.2.53 muestra en detalle la impermeabilización en los bordes



(a) Al borde de la Vía



(b) En la Junta de Expansión

Figura 7.2.53. Detalle de Impermeabilización

3) Junta de Expansión

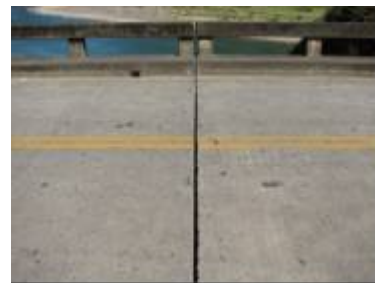
En este lineamiento, el pavimento asfáltico fue propuesto para todos los puentes de Costa Rica. Cuando se coloca pavimento asfáltico sobre la losa existente debe haber un espacio para colocar la junta de expansión.

En casi todos los puentes, sin embargo, la junta de expansión esta rota (Foto7.2.2) por lo que en este caso se debe remplazar con una nueva. En algunos puentes, no hay junta de expansión, solo hay un espacio (Foto 7.2.2), por lo que se debe instalar una nueva.

Por lo tanto en esta sección mencionaremos sobre el caso de remplazar e instalar nuevas juntas de expansión.

Cuando se requiere de mantenimiento en la junta de expansión debe hacerse de acuerdo su manual de diseño, manual de mantenimiento o estándares relevantes.

La Figura 7.2.54 muestra un diagrama de flujo para el mantenimiento de juntas de expansión



(a) Junta de Expansión Rota

(b) No hay Junta de Expansión

Foto 7.2.2. Condición de las Juntas de Expansión

(1) Selección de una nueva Junta de Expansión

En el caso de remplazar o instalar nuevas juntas de expansión, se debe seleccionar la nueva junta considerando lo siguiente:

a) La condición del Ambiente

- Volumen de Tráfico y relación de vehículos pesados (para considerar ciclo de mantenimiento o durabilidad)
- Condición
- Condición Aledaña (para seleccionar tipos de menor ruido y/o vibración)

b) Condición del Sitio de Trabajo

- Método de control de Trafico, sección de control y tiempo o periodo
- Condiciones climáticas
- Tiempo requerido para la ejecución
- Condición Aledaña (para seleccionar tipos de menor ruido y/o vibración)

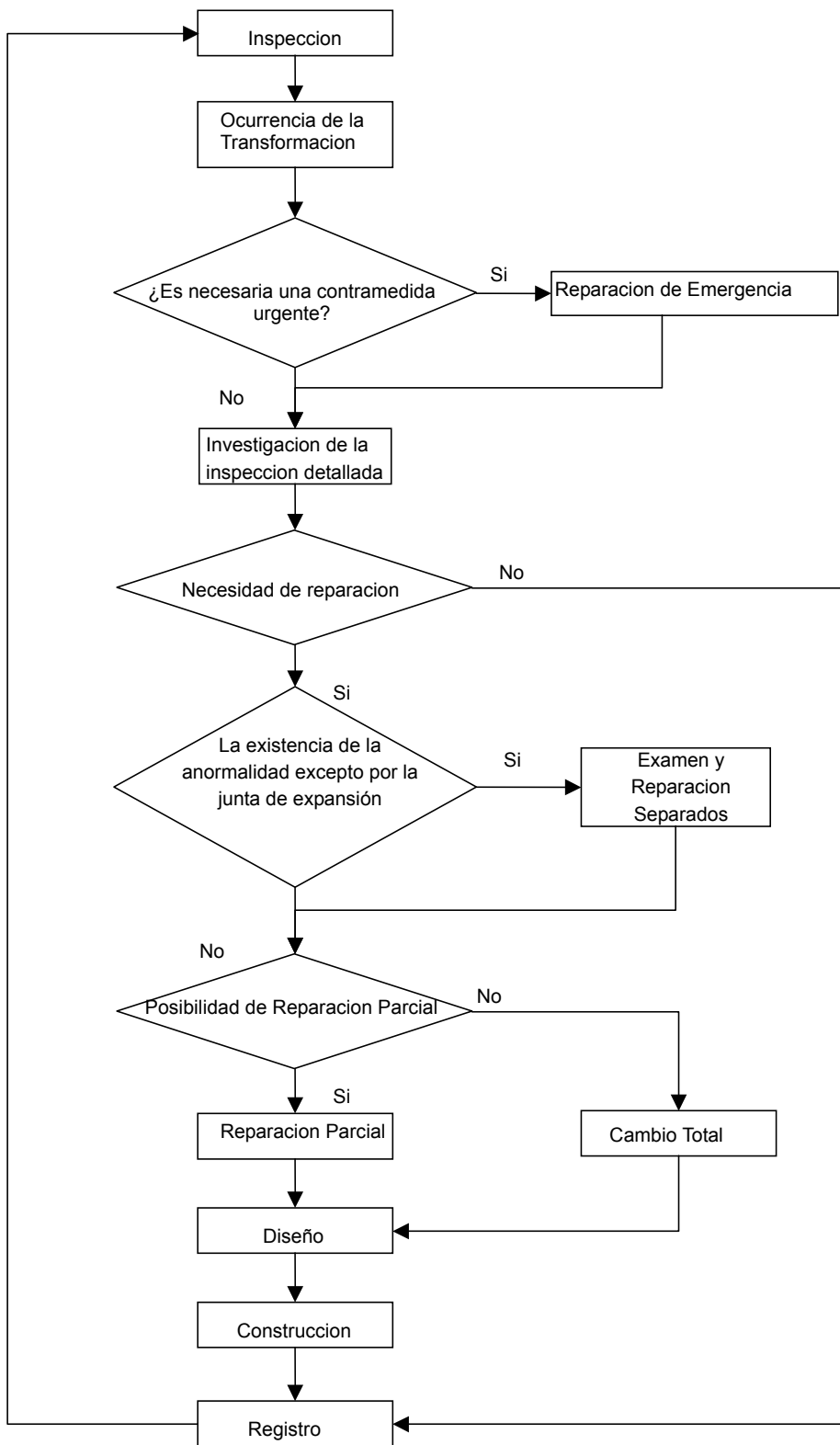


Figura 7.2.54. Diagrama de Flujo para el Mantenimiento de Juntas de Expansión

2) Tipo de Junta de Expansión

La Tabla 7.2.21 y 7.2.22 muestran los tipos de juntas de expansión, juntas de tipo No-Drenables, como juntas cerradas son las recomendadas.

a) Juntas Abiertas

Las juntas abiertas permiten el paso de agua y escombros a través de la junta. Los dos tipos de juntas abiertas se muestran en la Tabla 7.2.21.

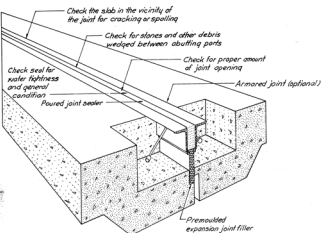
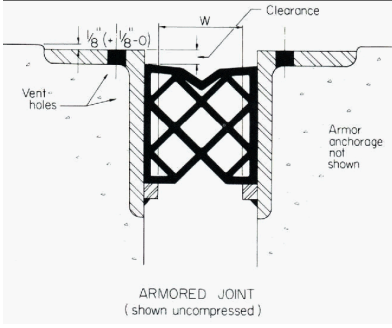
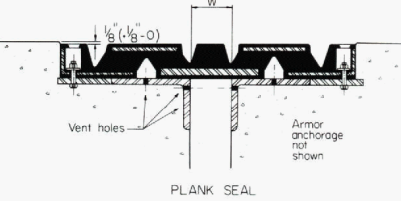
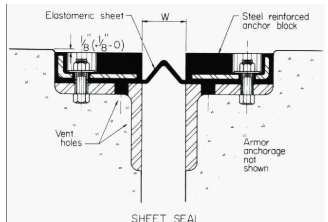
Tabla 7.2.21. Juntas Abiertas (Juntas de Expansión Tipo Drenadotas)

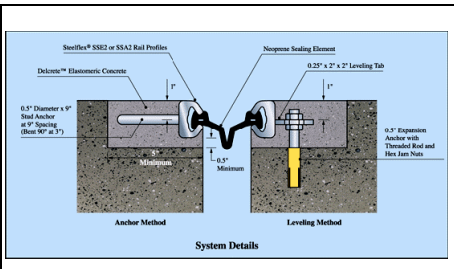
<p>Junta Moldeada</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Las juntas moldeadas son un poco más que un espaciamiento la losa del puente y el bastión o en el caso de puentes multi-tramos, entre las secciones de losa adyacentes. - Son encontradas en puentes de tramos muy cortos donde la expansión es mínima. - Las juntas moldeadas están usualmente desprotegidas pero la losa y el parapeto pueden ser armados con angulares de acero. - Las juntas moldeadas son comunes en tramos cortos de puentes con losas de concreto
<p>Juntas de Placas Dentadas</p>		<ul style="list-style-type: none"> - La junta de placa dentada, consiste en dos placas de acero con dientes entrelazados. Estas juntas se encuentran usualmente en puentes de tramos largos donde se requiere de expansiones grandes. - Las juntas de placas dentadas son usadas para acomodar movimientos de 100 a más de 600mm - Algunas veces se colocan canales debajo de las juntas abiertas de placa dentada. Proponen llevar el agua a través de la junta hacia fuera de la superestructura, soportes y subestructura. - Hay dos tipos de juntas de placas dentadas, juntas de placas dentadas en voladizo y placas dentadas soportadas. Las placas dentadas en voladizo cuando se requiere de relativamente poca expansión. Las placas dentadas soportadas se usan en largos tramos. - Algunos tipos de placas dentadas son segmentadas permitiendo el mantenimiento y reemplazo si es necesario
<p>Junta de Placa Deslizante</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Una junta de placa deslizante está compuesta de dos placas que se deslizan una por encima de otra - La junta de placa deslizante es usualmente no impermeable e intenta sellar la junta, algunas veces se usa una lámina elastomérica para llevar el agua a los lados de la losa (ver figura) - Esta lámina se adjunta entre las placas en las juntas. La placa se puede acomodar de manera que de un movimiento máximo de 100mm (4 pulgadas).

b) Juntas Cerradas

Las juntas cerradas están diseñadas de manera que el agua y escombros no pasen a través de ellas. Esto protege la subestructura y la subestructura bajo la junta de efectos de agua y de escombros. Hay varios tipos de juntas cerradas. La Tabla 7.2.22. muestra las juntas cerradas típicas.

Tabla 7.2.22. Juntas Abiertas (Junta de Expansión Tipo Drenaje)

<p>Junta de Sello acanalado</p>		<p>Una junta de sello acanalado esta hecha de dos materiales la base y el sello acanalado. La base consisten en una junta de expansión de relleno mejorada. La parte superior de es 25 a 50mm del tope de la losa. El espacio restante de la junta consiste en el canal sellador que es separado de la base por una barra de sostén. Dado a que la junta de sello acanalado se puede acomodar para movimientos de 6mm es usual encontrarla en estructuras de tramos cortos.</p>
<p>Sellos de compresión</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Un sello de compresión consiste en formas rectangulares de neopreno con sección transversal perforada (ver figura) El diseño perforado permite el sello de compresión y su recuperación después de la expansión o contracción. - Los sellos a compresión pueden tener angulares de acero para el acomodo con las losa y el parapeto - Estos sellos vienen en variedad de tamaños y a menudo se clasifican por su capacidad de movimiento máximo. -Un sello de compresión largo puede acomodad un movimiento máximo de aproximadamente 50mm
<p>Sellos Elastoméricos prefabricados (Sellos Tablón)</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Un sello Tablón consiste en refuerzo de neopreno que da soporte a las ruedas de los vehículos sobre la junta. Este tipo de sello es apernado a la losa y es capaz de acomodad movimientos de 50 a 330mm
<p>Sellos Elastoméricos prefabricados (Sellos de Lámina)</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Un sello de lámina consisten en dos bloques de acero reforzado con neopreno. Esta junta puede acomodad movimientos de aproximadamente 100 mm.

<p>Sellos Elastoméricos prefabricados (Sellos Descubiertos)</p>		<p>- Un sello descubierto consiste en dos anclajes de acero acanalados dentro de la losa y parapeto. Un sello de neopreno se ajusta dentro de los surcos del tramo. Esta junta puede acomodar un movimiento máximo de aproximadamente 100mm</p>
---	---	---

(3) Instalación

Existen 5 cm de distancia entre la superficie del pavimento y la junta de expansión existente dado que el Nuevo asfalto será ligado a la losa con impermeabilizantes. Por lo que la losa debe levantarse con concreto colado e instalar la nueva junta de expansión.

La Figura 7.2.55. es un ejemplo para puentes de vigas de acero simples o de vigas I PC

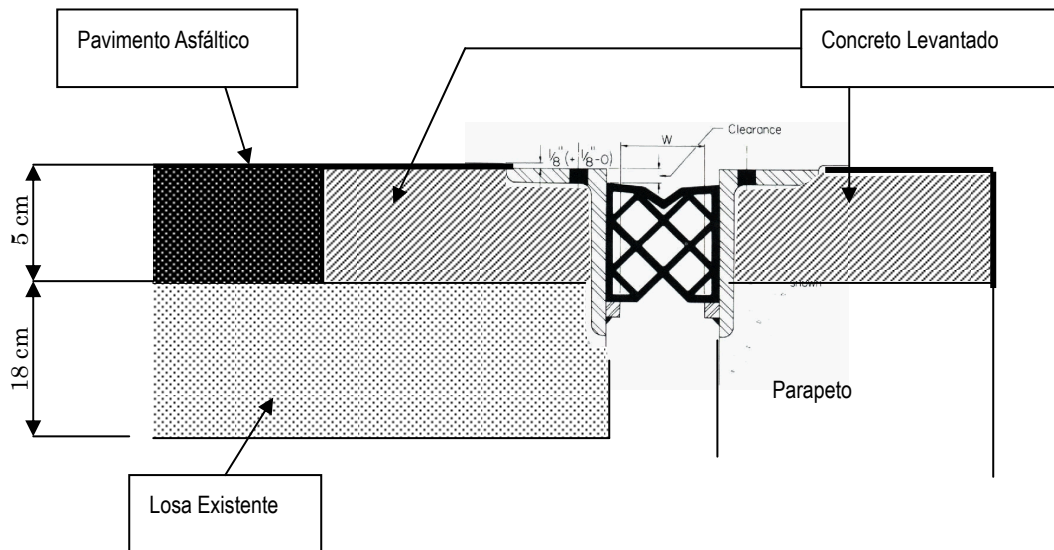


Figura 7.2.55. Ejemplo de Método para Fijar Nuevas Juntas de Expansión

7.2.11 Sistema de Prevención de Asientos

7.2.11.1 Objetivo de Desempeño Sísmico

EL objetivo de desempeño sísmico para refuerzo de puentes se debe determinar en consideración del Desempeño Sísmico y la Importancia del puente. El Desempeño Sísmico es uno de los desempeños de seguridad que se evalúan en la capacidad de carga de la subestructura y la estabilidad de la fundación contra el volcamiento y deslizamiento. Es importante por ser un tipo de servicio en caso de terremoto que es valuado en importancia de tráfico para la evaluación, operaciones de rescate y rutas de transporte para servicios médicos y mandar ayuda a las víctimas del terremoto.

Además, el objetivo de desempeño sísmico debe ser definido como indica la tabla siguiente y el Sistema de Prevención de Asientos se emplea satisfaciendo este desempeño-2.

Desempeño Sísmico -1	Este es un desempeño referente a la seguridad ante carga de sismo. Subestructura y fundación reforzada
Desempeño Sísmico -2	Este es un desempeño para mantener el mismo desempeño de servicio de tráfico después del terremoto. Por ejemplo, prevenir que las vigas se caiga o transformen a causa del asentamiento de la superficie del puente e interrupciones de tráfico cuando inexplicablemente ocurren largos desplazamientos entre la subestructura y la superestructura.

Referente al desempeño-1 debe ser evaluado en el diseño del refuerzo para subestructura y fundación para tener la suficiente capacidad de soporte o para mantener la estabilidad de la fundación y el diseño debe basarse en el AASHTO o los estándares relevantes para Costa Rica

7.2.11.2 Concepto Básico de Sistema de Prevención de Asiento

1) Partes Componentes del Sistema de Prevención de Asiento

Se debe instalar un sistema de prevención de asiento esto prevendrá el colapso en la superestructura, caídas o transformaciones en un evento de falla inesperado del sistema estructural, a causa del asiento de los materiales o de asentamiento del terreno.

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

Componentes	Explicación
Longitud de Asiento de Viga	Es una longitud al final de la viga en un sistema de prevención de asiento, entre el fin de la viga y el tope del borde del bastión, para prevenir la viga del inicio de una dislocación del tope de la subestructura aun cuando ocurra un desplazamiento relativamente largo entre la subestructura y superestructura
Estructura de Prevención de Asiento	Esta estructura se instala en la subestructura o al final de la viga para prevenir al final de la viga del movimiento a través de la longitud de asiento aun cuando un desplazamiento relativamente largo ocurra entre la subestructura y la superestructura. Debe complementar la longitud de asiento y es una estructura de seguridad a la falla para destrucción inesperada del terreno o destrucción estructural de la subestructura. Por eso debe operar antes que el fin de movimiento de la viga más allá del largo del asiento
Estructuras que limitan el desplazamiento excesivo	Una estructura instalada para resistir la inercia durante sismo en combinación con el soporte para prevenir un desplazamiento relativamente largo entre la superestructura y la subestructura aun cuando los soportes están dañados
Estructuras para la prevención de asiento de la superestructura	Una estructura para prevenir el asiento puede afectar el movimiento de vehículos cuando el soporte de acero de gran altura, etc. esta dañado

Más aun cuando el tipo de superestructura y sus dimensiones son similares a las otras, el método de conexión ambas vigas adjuntas para hacer una viga continua, es un sistema para prevenir el desplazamiento o el asentamiento de la superestructura efectivo. Especialmente este método es el refuerzo más efectivo para secciones traslapadas en vigas en voladizo.

2) Puntos Claves de Diseño de Sistemas de Prevención de Asiento

(1) Inspección de Sitio

Primeramente el ingeniero debe investigar las dimensiones del miembro, material y accesorios, basados en los planos.

Después el ingeniero debe inspeccionar las condiciones del sitio, obstrucciones alrededor de los soportes y las condiciones de tráfico, etc. para confirmar si esas condiciones son consistentes con los planos o no.

(2) Diseño de estructuras de prevención de asiento

Los componentes del sistema de prevención de asientos deben ser seleccionados apropiadamente de acuerdo al estilo del puente, tipo, etc. Los puntos clave del diseño del Sistema de Prevención de Asiento se muestra a continuación

- Es importante comprender el propósito y función de cada estructura y después las estructuras necesarias para cada parte de componente debe seleccionarse en consideración de la secuencia de trabajo, características estructurales y capacidad de movimiento de cada parte de componente.
- La relación de capacidad de movimiento entre cada parte de componente se muestra a continuación.
 - Soporte < Estructura Limitadora de Desplazamiento Excesivo
 - <Estructura de Prevención de Asiento < 75% Longitud de Asiento de la Viga
- La estructura de prevención de asiento se debe diseñar en consideración de su mantenimiento por ejemplo el fácil mantenimiento y/o tener espacio para la inspección.
- En la misma línea de soportes, el movimiento de cada estructura de prevención de asiento debe ser el mismo. Si es diferente, la carga se concentraba en al menos una estructura de prevención de asiento y entonces esta se destruirá una a una.
- Aunque la estructura de prevención de asientos sea fabricada basado en los resultados de las medidas en sitio, es preferible ajustar las medidas a algún error de fabricación cuando esta se instale.
- Cuando ambos tipos de superestructura adjuntas o las dimensiones difieren bastante, por ejemplo la diferencia de las reacciones es mas de 2 veces o la diferencia del periodo de vibración unitario de diseño es mas de 1.5 veces, el método de conexión de vigas para adjuntarlas no puede aplicarse.
- Cuando los miembros existentes se harán con huecos para pernos para fijar las estructuras de prevención de asientos al miembro existente. La revisión de la condición de esfuerzos de los miembros existentes debe chequearse y se requiere un estudio de la secuencia de construcción.

3) Combinación de cada parte de componente

De la experiencia de desastres sísmicos anteriores, se necesita examinación particularmente cuidadosa de acuerdo con el sistema de prevención de asientos para los puentes referido a lo siguiente:

- Puentes donde su subestructura se liga al terreno poseen riesgo a ser perturbados.
- Puentes con diferencias sustanciales entre los tipos de subestructura y condiciones del terreno.
- Puentes en los que los tipos o tamaños de superestructuras adjuntas son sustancialmente diferentes
- Puentes con pilas altas
- Puentes en curva
- Puentes con subestructuras estrechas al tope
- Puentes con pocos soportes en la línea de apoyo

El criterio para combinación de componentes para Sistemas de Prevención de Asiento se muestra a continuación basado en las Especificaciones para Puentes de Carreteras en Japón.

(1) En dirección longitudinal al eje del puente

La longitud de asiento de la viga en el soporte debe ser proveída al final del soporte y de la sección traslapada. La estructura de prevención de asiento debe instalarse al final de los soportes y la sección traslapada. Sin embargo cuando el puente es soportado por bastiones muy rígidos en ambos lados de soporte y satisface las condiciones siguientes, la estructura de prevención de asiento se puede obviar su instalación.

- a) Puentes de tramos simples
- b) Las subestructuras están ligadas a terrenos sustanciales clasificados como I en la tabla siguiente

Clase de Terreno	Valor característico de terreno T_G (s)
Clase I	$T_G < 0.2$
Clase II	$0.2 \leq T_G < 0.6$
Clase III	$0.6 \leq T_G$

$$T_G = 4 \sum_{i=1}^n \frac{H_i}{V_{si}} \dots\dots\dots(11.5.1)$$

donde

- TG : Valor característico de terreno (s)
- Hi : Espesor de la i's capa de suelo (m)
- vsi : Velocidad de Onda Cortante Elástica de i's capas de suelo Promedio (m/s).
Cuando no esta disponible el valor de la medida se puede obtener de la ecuación (11.5.2)

En caso de capas de suelos cohesivos

$$V_{si} = 100N_i^{1/3} (1 \leq N_i \leq 25)$$

En caso de capas de suelos arenosos

$$V_{si} = 80N_i^{1/3} (1 \leq N_i \leq 50)$$

.....(11.5.2)

- Ni : Valor N promedio de la i's capa de suelo por prueba de penetración Standard
- i : Numero de i's capas de suelo desde la superficie del terreno cuando el terreno es clasificado dentro de n capas desde la superficie. La base del terreno se refiere a la cara superior del terreno con valor de N de 25 o mas en el caso de capas de suelos cohesivos o valores de N de 50 o mas en el caso de capas de suelos de estudio o la cara superior de la Velocidad de Onda Cortante Elástico es mas de 300m/s

(2) Transversal al eje del puente

Las Estructuras de Limitación de Desplazamiento Excesivo se instalan de acuerdo a la Tabla siguiente. Esta tabla es de las Especificaciones de Puentes de Carreteras de Japón.

	Soportes Finales y Sección Traslapada	Soportes Intermedios en vigas continuas
Puentes desfasados	○	—
Puentes Curvos	○	—
Puentes en los que la subestructura es estrecha en el tope	○	○
Puentes con pocos soportes en la línea de apoyo	○	○
Puentes que la subestructura esta ligada en terrenos y el riesgo de que comiencen disturbios por licuefacción	○	○

7.2.11.3 Metodología de Diseño de Sistema de Prevención de Asiento

1) Longitud de Asiento de Vigas

(1) Longitud de Asiento Requerida

La longitud de asiento de la viga en el soporte, se muestra en la Figura 7.2.56, debe ser calculado de acuerdo con la Formula 7.2.11.3 la cual se obtuvo del “Estándar Japonés para Puentes de Carreteras No.V

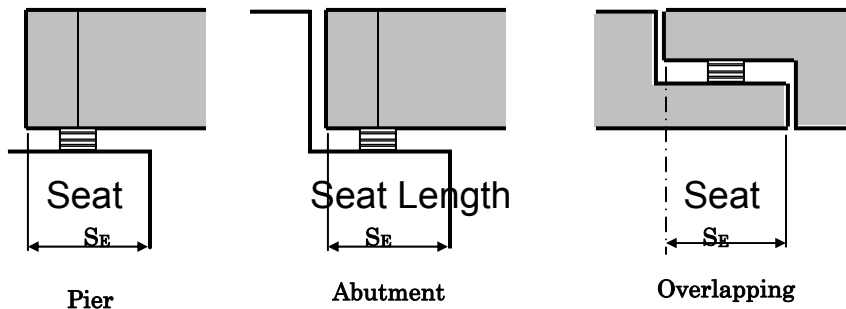


Figura 7.2.56. Longitud de Asiento para Vigas

$$S_E = 0.7 + 0.005L \dots\dots\dots(7.2.11.3)$$

donde

S_E : Longitud de Asiento (m)

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

La longitud L entre la subestructura debe ser la distancia entre la subestructura en la que el

soporte de la viga esta afectada en la vibración de la viga y el soporte primario al final de la viga debe ser calculada la longitud de asiento. La Figura 11.5.1 muestra un ejemplo de la longitud L

Cuando la dirección actuante de la presión de tierra en la subestructura no es la misma que la dirección longitudinal al eje del puente, como en puentes desfasados o puentes en curva, se debe medir la longitud de asiento en el soporte en la dirección en la que se da la menor distancia entre el fin de la viga y el tope con el borde de la superestructura, generalmente esta es la dirección transversal a la línea de soporte.

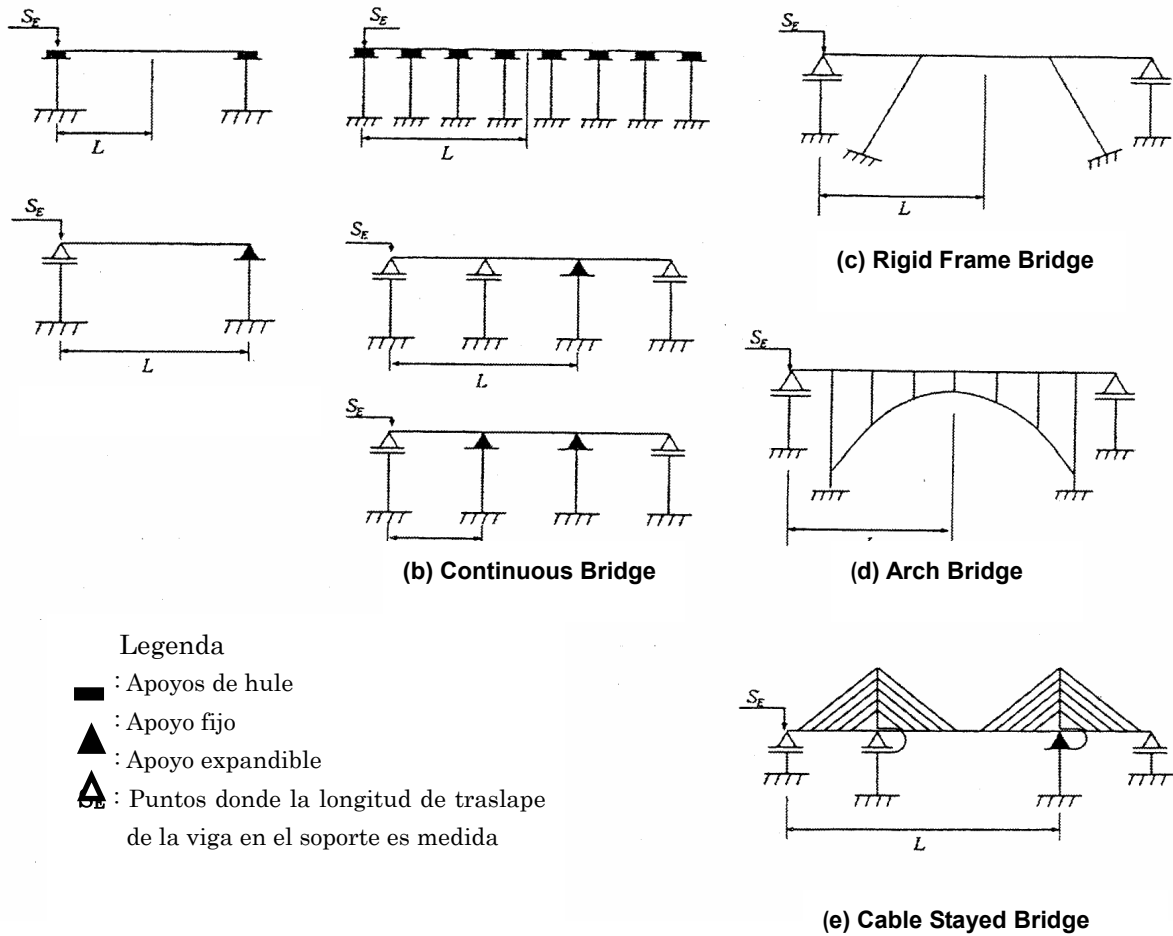


Figura 7.2.57. Longitud entre subestructuras para calcular el punto de la longitud del asiento

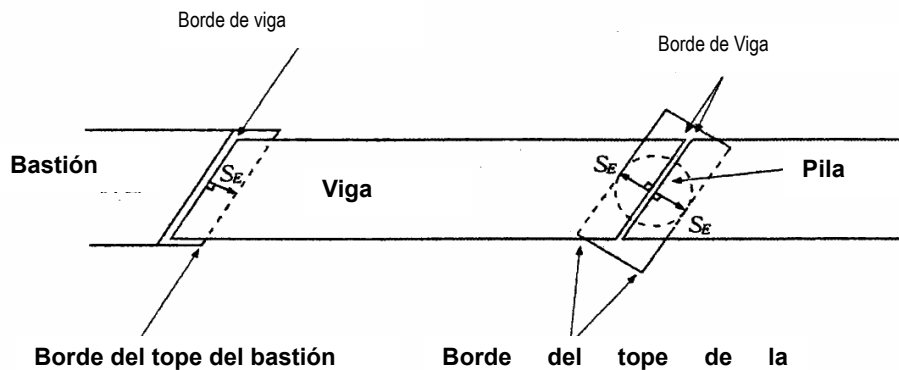


Figura 7.2.58. La longitud de asiento donde la dirección actuante de la presión de tierra no corresponde con la dirección longitudinal del eje del puente

(2) Diseño y Construcción para la Longitud de Asiento

(a) La estructura para asegurar la longitud de asiento

Generalmente las ménsulas de concreto se deben instalar para ensanchar la longitud de asiento, la Figura 7.2.59 muestra el concepto de diseño de ménsulas de concreto. La fuerza de diseño R_d es un valor grande de reacción de carga muerta de trabajo para cada soporte o el promedio de la reacción de carga muerta en la misma línea de apoyo.

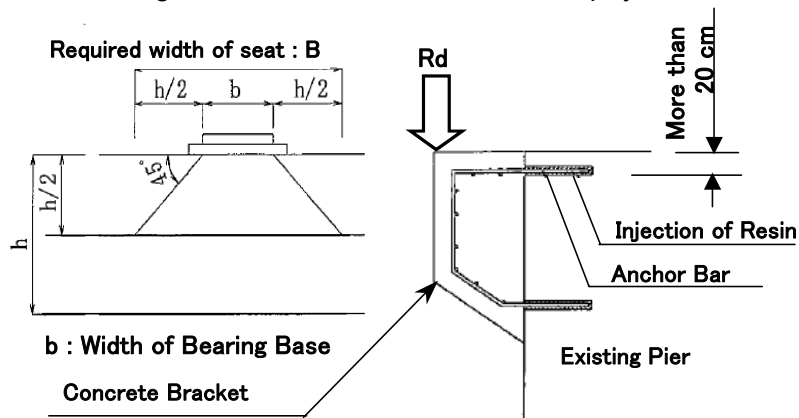


Figura 7.2.59. Concepto de Diseño de Ménsulas de Concreto

(b) Puntos Clave para el diseño y Construcción de ménsulas de concreto

- La altura mínima de la ménsula es más que H como se muestra en la Figura 7.2.60.
- La longitud de anclaje de barra es 15 veces más que D (D : Diámetro del perno de anclaje)
- El diámetro de perforación para las barras de anclaje debe ser 10mm mayor que el diámetro del perno de anclaje, se fijara a la estructura de concreto existente por medio de inyección de resina epoxica
- La localización del tope de los pernos de anclaje es de 15cm a 20cm por debajo del tope de la subestructura para evitar chocar con el refuerzo de la subestructura y los intervalos de los anclajes deben ser de 20cm a 30cm
- El ancho de la ménsula debe ser mayor a 30cm en consideración para construcción y para una mínima longitud de anclaje de los pernos
- Debe existir una junta de construcción picando la superficie y aplicando resina epoxica.

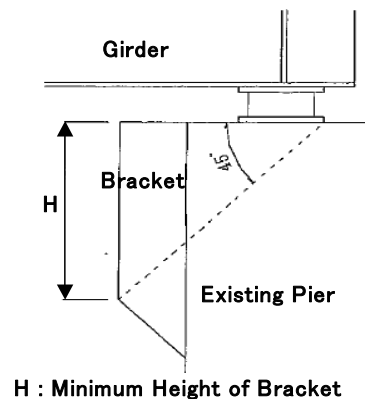


Figura 7.2.60. Altura Mínima del Anclaje

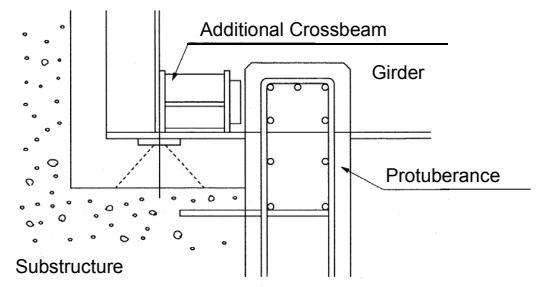
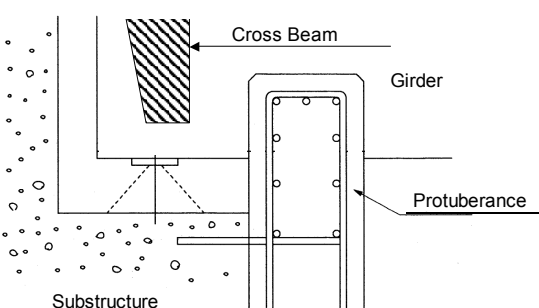
2) Estructura de prevención de Asiento

(1) Tipos de estructuras de prevención de asiento

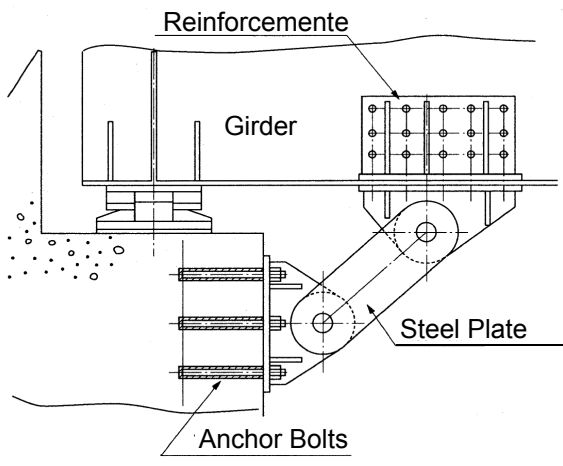
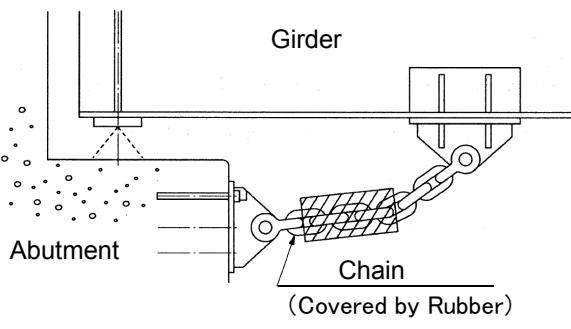
Dado a que la estructura de prevención de asiento después de destruido el soporte limita el desplazamiento excesivo, esta estructura no es para impedir la función, tal como el movimiento y rotación del soporte y las estructuras que limitan el desplazamiento excesivo. Un sistema de presanción de asiento debe seguir las siguientes estructuras

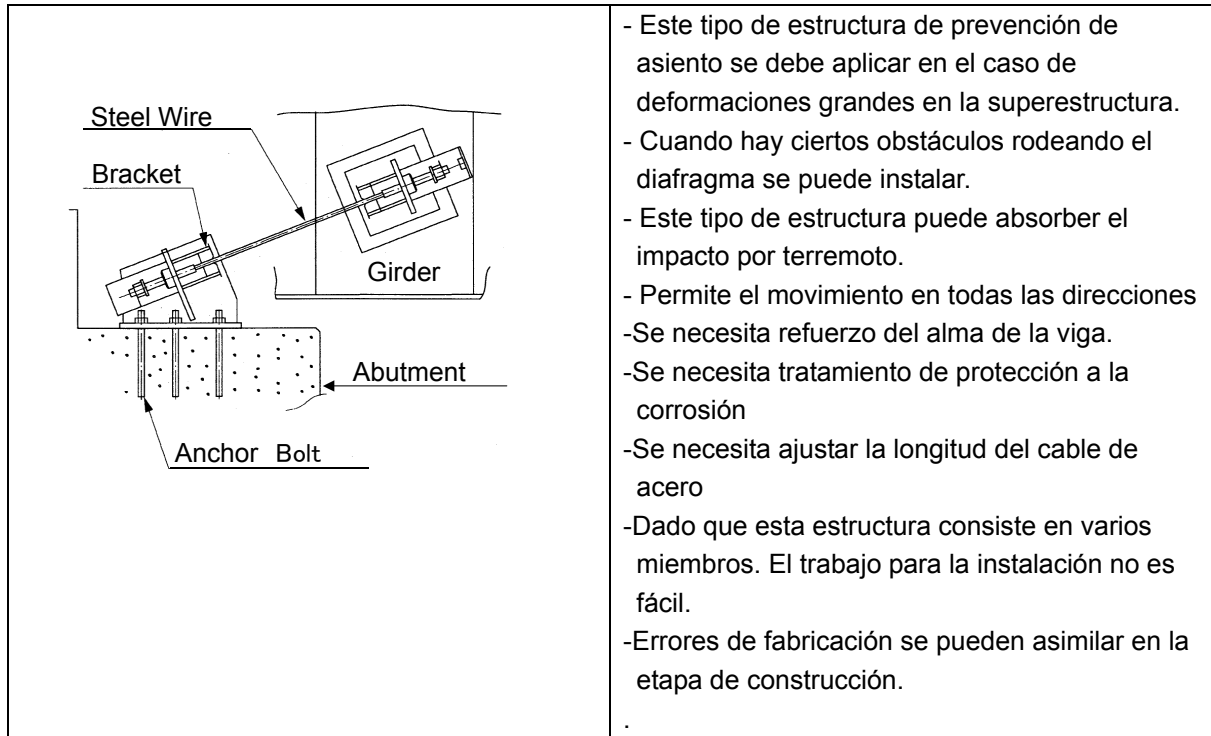
- Estructuras para conectar la superestructura a la subestructura
- Una extensión de la estructura instalada a ambos lados de la superestructura y subestructura.
- Estructuras para la conexión de dos series de superestructuras

a) Estructura para Instalación de la extensión a ambos lados de la superestructura y la subestructura

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

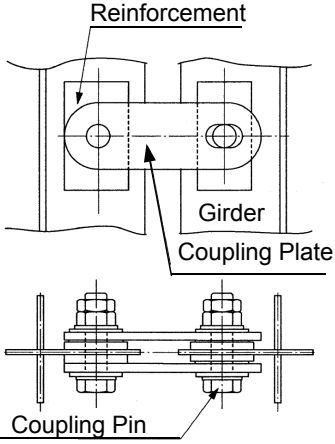
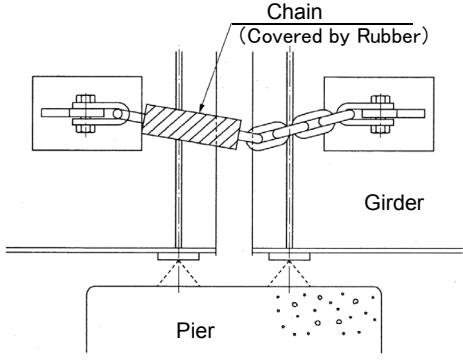
b) Estructura para conectar la viga a la subestructura

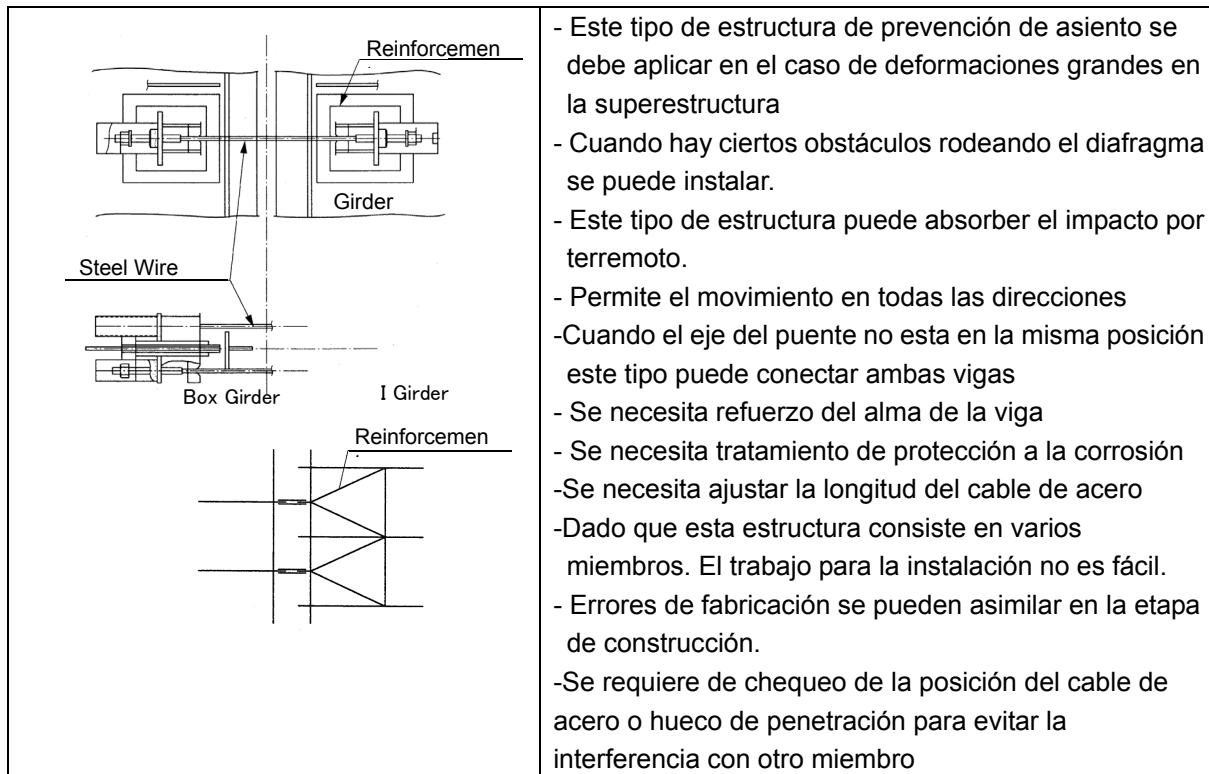
Contorno de la Estructura	Característica
	<ul style="list-style-type: none"> -Este tipo de estructura de prevención de asiento no se debe aplicar en el caso de deformaciones grandes en la superestructura -Este tipo de estructura no resiste el movimiento en la dirección transversal al eje del puente -Este tipo de estructura no puede absorber el impacto de terremotos. -Se necesita refuerzo en la viga. -Cuando hay un obstáculo cerca del diafragma, se debe aplicar este tipo de estructura -En el lado de la subestructura se debe fijar una ménsula por medio de pernos de anclaje, en la superestructura se debe fijar una ménsula usando H.T.B. -Dado a que el perno de anclaje es en dirección horizontal la marca de los huecos para perforación no es fácil.
	<ul style="list-style-type: none"> - Este tipo de estructura de prevención de asiento se debe aplicar en el caso de deformaciones grandes en la superestructura. -Este es posible en casos en los que no hay espacio suficiente en el tope de la subestructura -Cuando hay ciertos obstáculos rodeando el diafragma se puede instalar. -Este tipo de estructura puede absorber el impacto por terremoto. -Se necesita refuerzo de la viga - Permite el movimiento en todas las direcciones -Errores de fabricación se pueden asimilar en la etapa de construcción. -Se necesita que la cadena se cobra con hule.



- Este tipo de estructura de prevención de asiento se debe aplicar en el caso de deformaciones grandes en la superestructura.
- Cuando hay ciertos obstáculos rodeando el diafragma se puede instalar.
- Este tipo de estructura puede absorber el impacto por terremoto.
- Permite el movimiento en todas las direcciones
- Se necesita refuerzo del alma de la viga.
- Se necesita tratamiento de protección a la corrosión
- Se necesita ajustar la longitud del cable de acero
- Dado que esta estructura consiste en varios miembros. El trabajo para la instalación no es fácil.
- Errores de fabricación se pueden asimilar en la etapa de construcción.

c) Estructuras para conectar dos series de superestructuras

Contorno de la Estructura	Característica
	<ul style="list-style-type: none"> - Este tipo de estructura de prevención de asiento se debe aplicar en el caso de deformaciones pequeñas en la superestructura. - Esta disponible en casos en los que no hay es suficiente espacio en el tope de la subestructura - No resiste el movimiento transversal al eje del puente - Este tipo puede restringir la deformación por temperatura o carga viva como el movimiento o rotación del apoyo - Este tipo de estructura no puede absorber el impacto por terremoto. - Este tipo de estructura puede absorber el impacto por terremoto. - La exactitud de la administración se requiere dado a la dificultad de asimilar el error de fabricación en la etapa de construcción
	<ul style="list-style-type: none"> - Este tipo de estructura de prevención de asiento se debe aplicar en el caso de deformaciones grandes en la superestructura. - Esta disponible en casos en los que no hay es suficiente espacio en el tope de la subestructura - Cuando hay ciertos obstáculos rodeando el diafragma se puede instalar. - Este tipo de estructura puede absorber el impacto por terremoto. - Se necesita refuerzo del alma de la viga - Permite el movimiento en todas las direcciones - Errores de fabricación se pueden asimilar en la etapa de construcción.



(2) Puntos Clave para el Diseño y Construcción

a) Puntos Clave para el Diseño

- No debe limitar el movimiento de la viga en la dirección transversal al eje del puente
- La estructura que conecte la estructura de prevención de asiento de la viga a la subestructura debe transmitir la fuerza sísmica de la viga a la subestructura y aliviar el impacto de la fuerza sísmica
- Aunque el espacio de instalación de la estructura de prevención de asiento es limitado, es preferible instalar la cantidad que más se pueda para distribuir la fuerza sísmica en varios y evitar la concentración de fuerza en unos cuantos.
- La estructura de prevención de asiento se debe instalar en el centro de gravedad de la superestructura (ver Figura 7.2.61)
- Se debe instalar una estructura de prevención de asientos horizontalmente aun si la superestructura está inclinada (ver Figura 7.2.61)
- Cuando se emplea cable de acero para la estructura de prevención de asiento el tamaño del hueco para atravesar el cable de acero debe ser agujereado en consideración de algún espacio para la deformación del cable de acero por su propio peso.

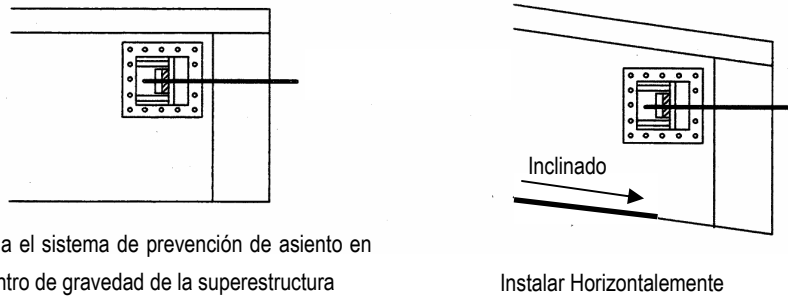


Figura 7.2.61. Posición de instalación de la Estructura de Prevención de Asiento

b) Fuerza de Diseño y Movimiento

La resistencia de fluencia de las estructuras de prevención de asiento no deben estar por debajo de la fuerza sísmica de diseño determinada en la ecuación 7.2.11.4, a.C. la resistencia de fluencia de la estructura se puede calcular basado en los esfuerzos permitidos, con un coeficiente extra de 1.5

$$HF=1.5Rd \dots\dots\dots(7.2.11.4)$$

donde

- HF : Fuerza sísmica de Diseño de la estructura de prevención de asiento
- Rd : reacción de Carga de Diseño, proveída cuando la estructura conecta dos series de vigas juntas, se debe tomar la más grande de las reacciones verticales.

Quando se emplea la estructura de Tipo Cadena el diseño se calcula con la ecuación 7.2.11.5

$$T=HF/(n \cdot \cos\theta) \dots\dots\dots(7.2.11.5)$$

donde

- T : Fuerzas de diseño para el cable de acero o cadena de la estructura de prevención de asiento
- HF : Fuerza de Diseño para la estructura de prevención de asiento
- n : Numero de estructuras de prevención de asiento en línea de soporte
- θ : Ver figura 7.2.62

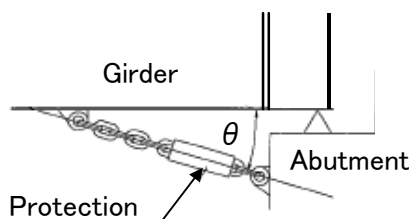


Figura 7.2.62. Caso de Estructuras de Prevención de Asiento Tipo Cadena

c) Diseño de Movimiento Máximo

Es más, es preferible para el grado de movimiento de la estructura de prevención de asiento a ser diseñadas sean lo mas largas posibles dentro de un valor dado por la ecuación 7.2.11.6.

$$SF=CF*SE \dots\dots\dots(7.2.11.5)$$

donde

- SF : Diseño de movimiento máximo para estructura de prevención de asiento (cm)
- CF : Diseño de coeficiente de desplazamiento para estructura de prevención de asiento, el cual es 0.75
- S_E : La longitud de asiento de la viga, calculado con la ecuación 7.2.11.3

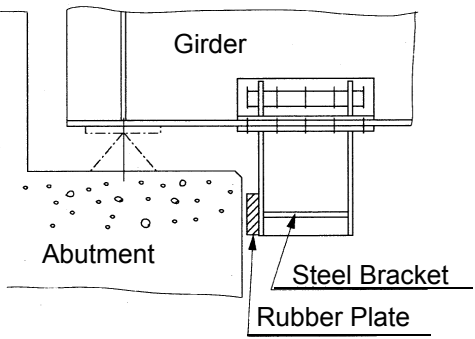
3) Estructuras limitadoras de Desplazamiento Excesivo

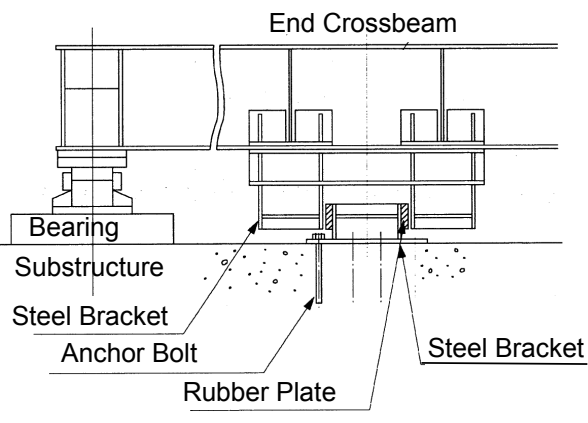
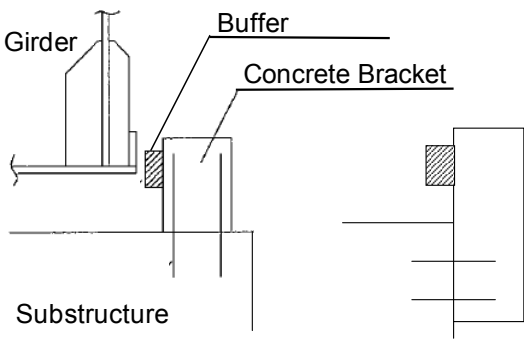
(1) Tipo de estructuras limitadoras del desplazamiento excesivo

Las estructuras limitadoras de desplazamiento excesivo debe tener la siguiente estructura.

- Estructuras para conectar la superestructura con la subestructura
- La Estructura debe incorporar una extensión en la superestructura y la subestructura

Las estructuras limitadoras de desplazamientos excesivos generalmente son:

Contorno de la Estructura	Característica
	<ul style="list-style-type: none"> -Esta estructura es instalada para limitar el movimiento en la dirección longitudinal al eje del puente. -Con el fin de absorber el impacto de terremoto una placa de hule se debe fijar a la ménsula -La ménsula debe fijarse con H.T.B. a la viga - Se necesita refuerzo en la viga.

 <p>The diagram shows a cross-section of a bridge end crossbeam. It is supported by a bearing on a substructure. The crossbeam is connected to the substructure using steel brackets and anchor bolts. A rubber plate is placed between the crossbeam and the substructure to provide seismic isolation.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Esta estructura es instalada para limitar el movimiento en la dirección longitudinal al eje del puente - Con el fin de absorber el impacto de terremoto una placa de hule se debe fijar a la ménsula. - Cuando hay ciertos obstáculos rodeando el diafragma no se puede instalar. -Esta estructura es importante para revisar la relación con la posición del soporte. - Se debe fijar una ménsula con H.T.B. en la viga y otra en la subestructura - Se necesita refuerzo en la viga.
 <p>The diagram shows a cross-section of a girder connected to a substructure. A concrete bracket is used to secure the girder to the substructure. A buffer is placed between the girder and the concrete bracket to provide seismic isolation.</p>	<ul style="list-style-type: none"> -En la subestructura debe haber una extensión de estructura de concreto a un lado y fijada con pernos de anclaje -Cuando no hay el suficiente espacio en el tope de la superestructura se debe instalar una extensión al lado de la subestructura -Cuando no hay espacio suficiente fuera de la viga se puede instalar dentro de la viga -No es necesario adjuntar ninguna estructura en la viga (fácil construcción y mas barato)

(2) Fuerza de Diseño

Las estructuras limitadoras de desplazamiento excesivos no deben reducir el desempeño de la fuerza sísmica calculada por la ecuación 7.2.11.6., Aquí, el esfuerzo de fluencia de la estructura de prevención de asiento es calculada basada en los esfuerzos permitidos, con un coeficiente extra de 1.5.

$$H_s = 3 \cdot \alpha \cdot R_d \dots\dots\dots(7.2.11.6)$$

donde

- H_s : Fuerza sísmica de Diseño usada en el diseño de estructuras limitadoras de desplazamiento excesivo
- α : Coeficiente sísmico horizontal de diseño usado en el método de coeficiente sísmico
- R_d : Carga de reacción de diseño

(3) Puntos Clave para el Diseño

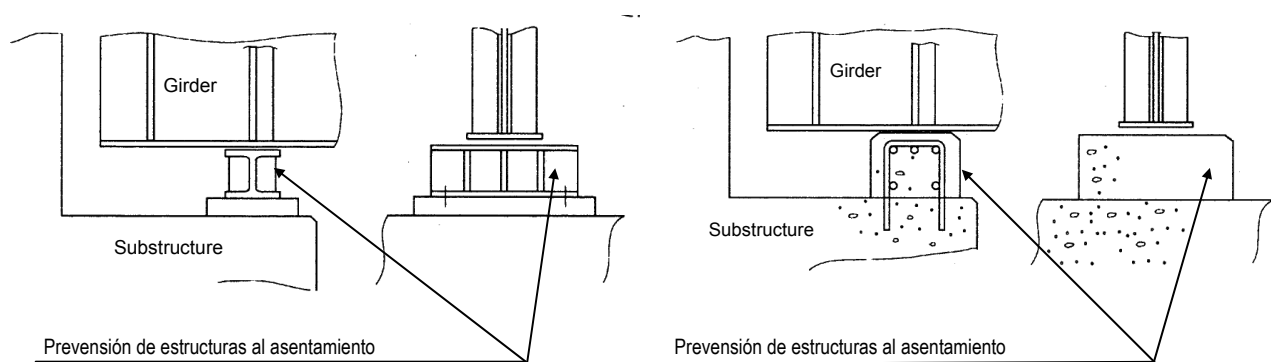
- Dado a que las estructuras limitadoras de desplazamiento excesivo deben trabajar después de la destrucción de los apoyos por la fuerza sísmica para prevenir los desplazamientos de la superestructura y la subestructura de que se conviertan en capacidad de movimientos de los soportes, esta capacidad de movimiento se debe determinar aproximadamente como la capacidad de movimiento del soporte
- Las estructuras limitadoras de desplazamiento excesivo se deben diseñar no para resistir las funciones de los soportes tales como movimientos por temperatura o rotación por carga viva

4) Estructuras limitadoras de desplazamiento excesivo para Asentamiento

Cuando un gran sismo ocurre es crucial mantener cualquier diferencia en la superficie del puente al nivel mínimo para habilitar la evacuación y paso de vehículos de emergencia los mas fácil posible después del terremoto. La destrucción de los soportes por un terremoto es una de las causas por las que ocurren las diferencias en la superficie del puente por lo que estructuras limitadoras de desplazamiento excesivo se instalan para mantener esas diferencias al mínimo. Cuando la diferencia de la superficie del puente después del terremoto es menor a 10cm, no será un obstáculo fatal para el movimiento de vehículos de emergencia o la evacuación de damnificados sin embargo seria mejor determinar un valor limite basado en las características del puente.

Aunque las estructuras para prevenir a la superestructura de asentamientos soportaran temporalmente a la superestructura, debe ser diseñada para tener la suficiente capacidad de soporte la carga de la superficie pero la fuerza horizontal de diseño por sismo debe ser considerada.

Las estructuras de prevención de asientos siguen generalmente la siguiente estructura



a) En caso de usar vigas H de acero

b) En caso de usar estructuras de concreto

Figura 7.2.63. Estructura para prevenir la colocación de la viga

5) Refuerzo de Goznes en Puentes en Voladizo

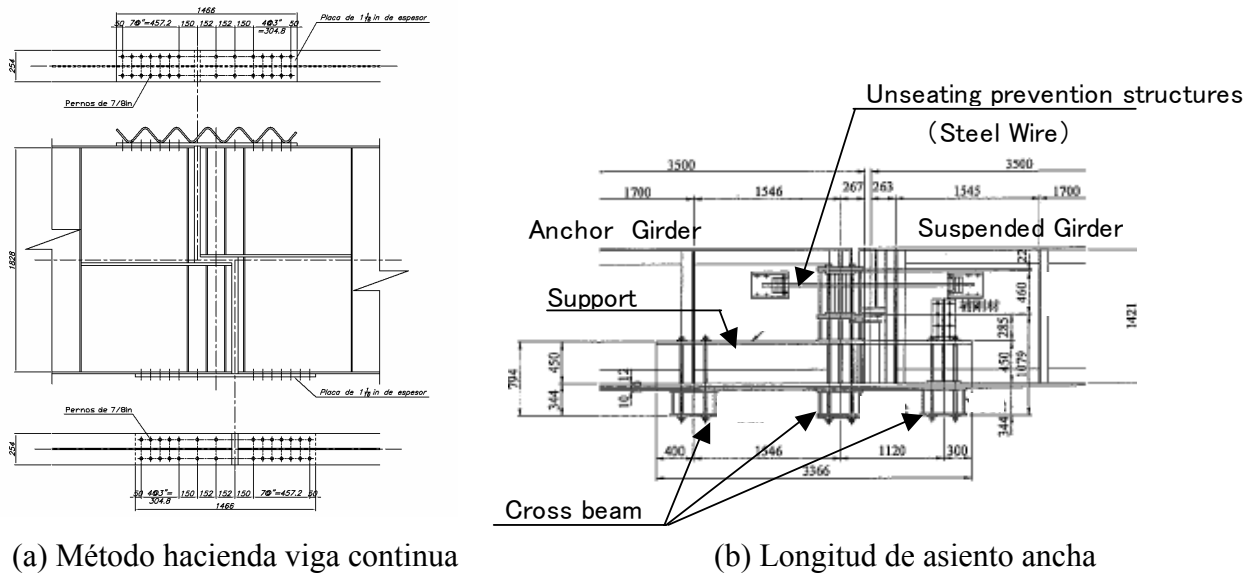
EL método de refuerzo de goznes para puentes en voladizo debe seguir la siguiente estructura

- Ser una viga continua (Figura 7.2.63(a))
- Longitud de asiento ancha (Figura 7.2.63(b))
- Instalar sistemas de prevención de asientos

Las características del método anterior se muestran a continuación, en esta tabla el método de vigas continuas puede ser el mejor camino sin embargo, será mejor evaluar basados en las características de los puentes.

	Viga Continua	Longitud de Asiento ancha	Instala sistema de prevencion de asientos
Desempeño sísmico	A	B	C
Capacidad de Trafico	A	B	B
Mejorar en capacidad de carga	A	B	C
Control de trafico durante la construcción	C	B	B
Mantenimiento después del refuerzo	A	B	C
Grado de Dificultad de ejecución	A	C	B

A: Bueno, B : entre A y C, C : Bajo



(a) Método hacienda viga continua

(b) Longitud de asiento ancha

Figura 7.2.64. Método de refuerzo de gozne en puente en voladizo

CAPITULO 8 MEDIDAS DE SEGURIDAD

8.1 Accesos de Inspección y Seguridad

8.1.1 Requerimientos de Acceso

1) Pre-Inspección

Como parte del proceso de pre-inspección, el inspector de puentes debe visitar el sitio del puente para decidir como realizar la inspección de manera segura y que tipo de equipo de acceso es apropiado para el tipo de inspección que se debe llevar a cabo. El acceso al puente puede ser obtenido utilizando equipo simple como una escalera. El acceso a los apoyos, ítems de drenaje y partes del puente también pueden darse con el uso de la escalera.

2) Acceso con Cuerdas

El acceso con cuerdas provee un método de inspección de costo efectivo. Sin embargo, cuando el inspector utiliza las cuerdas como método de acceso, algunas partes para la inspección del puente se ven limitadas para escalar y descender con cuerdas. Por lo tanto, el acceso con cuerdas debe de mantener la seguridad.

3) Equipo Móvil (Plataforma operada hidráulicamente y montacargas)

Existe una gran variedad de plataformas operadas hidráulicamente y montacargas disponibles en el mercado que pueden proveer acceso para la inspección de puentes como se muestra en las figuras siguientes. No existe equipo de este tipo en Costa Rica. A continuación se presenta el equipo disponible en el futuro como referencia.

- a) Para alcanzar puntos no muy altos se puede utilizar plataformas que se extienden en dirección vertical y horizontal. Estas máquinas deberán ser ubicadas inmediatamente adyacentes o debajo de la parte a ser inspeccionada. Este tipo de plataformas no son auto propulsadas y necesitan de una superficie nivelada firme debajo del puente que se inspecciona.
- b) Para la inspección detallada de miembros limitadas, existen montacargas disponibles con grandes áreas de plataforma que son capaces de alcanzar alrededor de 7 metros de altura a las partes superiores, alrededor de 6 metros para partes inferiores y 5 metros de longitud desde la superficie del puente. Estas están disponibles en doble tracción para los lugares donde el suelo es irregular.
- c) El vehiculo se apoya en cuatro voladizos para estabilidad. También requieren de cambios



Estilo General



Mientras se trabaja

frecuentes de posición para cubrir una gran parte de la inspección.

- d) Cuando es difícil o imposible proveer acceso desde abajo, se puede utilizar plataformas desde debajo del puente.



Mientras se trabaja

4) Espacios Limitados

Los miembros estructurales especiales tales como las vigas de acero y las vigas cajón de concreto se necesitan inspeccionar internamente. El acceso a estos espacios limitados debe estar estrictamente controlado y los siguientes lineamientos deben ser adoptados sumados a los lineamientos de seguridad a los que se hace referencia en la Sección 11.1.2. Los peligros asociados a los espacios limitados incluyen la deficiencia de oxígeno, gases o líquidos inflamables, humo tóxico, organismos fungi o bacterias y polvo.

Estos espacios confinados pueden ser usualmente ingresados a través de registros de inspección sin hacer ninguna interrupción al flujo de tráfico. Cuando se trabaja en un registro de inspección, la cubierta debe estar asegurada para prevenir que se cierre durante la inspección y todas las aberturas deben de ser protegidas adecuadamente para prevenir que alguien se caiga en ellas.

Los siguientes lineamientos son recomendados para ser implementados para ingresar en espacios limitados.

- Los miembros del equipo de inspección deben de tener una altura apropiada y no deben de tener problemas psicológicos tales como el miedo a las alturas o a espacios cerrados.
- Debe de haber suficiente luz para inspeccionar todo el miembro y para prevenir accidentes tales como tropezar con obstáculos.
- Un informe detallado por el Líder del Equipo de Inspección debe de ser realizado antes de ingresar al espacio limitado.
- Los miembros del equipo de inspección deben de verificar la ventilación dentro del espacio limitado antes de ingresar. Se debe de asegurar el adecuado oxígeno en la ventilación abriendo una cubierta de registro de inspección adicional o al bombear aire fresco.

8.1.2 Seguridad del Personal

1) Reglas de Seguridad Básica

Previo a la inspección se necesita realizar una evaluación apropiada y suficiente de los riesgos para una situación particular y las técnicas de inspección que se ven involucradas. La evaluación debe cubrir los riesgos de la fuerza laboral y el público, prestando atención especial a los pasajeros y peatones del tráfico vehicular.

La importancia de la seguridad durante los procedimientos de inspección no puede ser suficientemente enfatizada al personal de la inspección. Cada miembro del equipo de inspección deberá asegurar su propia seguridad y la de otros miembros del equipo. Se requiere el conocimiento adecuado y el entrenamiento en el procedimiento de inspección adecuado lo mismo que el uso de equipo como escaleras y cuerdas de acceso, etc. Estos lineamientos se rigen solo como lineamientos y no cubren otro tipo de situaciones específicas. Se requiere de legislaciones de seguridad en el futuro.

2) Reglas de Seguridad para el Equipo de Inspección

a) Aproximación al Sitio

Previo a aproximarse al sitio de la inspección se deben de hacer preparativos para implementar las medidas de control de tráfico apropiadas necesarias para realizar la inspección de manera segura como se presenta en la Sección 11.2.

El personal debe estar conciente de la disposición de cualquier medida para el control del tráfico, ya que estas pueden variar a medida que la inspección avanza. Cualquier área parcialmente restringida por las medidas del control de tráfico puede ser subsecuentemente abierta al tráfico a medida que la inspección cambia.

Si es posible el personal de inspección debe ser transportado al sitio de la inspección en vehículos oficiales equipados con señales destellantes. Esto alerta al público que transita de cualquier maniobra que el vehículo realice al aproximarse a las áreas con conos.

Si la inspección a ser realizada no requiere de medidas de control de tráfico, la carretera del puente debe ser aproximada, de ser posible, desde la vía que cruza sobre o debajo la carretera o desde la superficie bajo el puente. El lugar donde se parquean los vehículos de la inspección debe de disponerse de manera que no ponga en peligro a los usuarios de las vías. Se debe de aproximar con cuidado la estructura cuando se avanza a pie hacia los terraplenes o las pendientes, ya que pueden estar resbalosas en clima seco al igual que en clima húmedo.

b) Acceso

En el sitio de inspección, el equipo de inspección debe procurar satisfacer la necesidad de accesos a las instalaciones adecuados y seguros. Por ejemplo, los andamios deben ser seguros y tener pasamanos, los espacios limitados deben estar adecuadamente ventilados de antemano

como se presenta en la Sección 11.1. Los miembros del equipo de inspección deben tener una oportunidad de comunicarse al entrar en espacios limitados o en áreas lejos del público.

c) Precauciones

Los miembros del equipo de inspección deben permanecer alertas y concientes en todo tiempo. Todas las precauciones necesarias deben ser tomadas por los miembros del equipo de inspección de antemano para minimizar el potencial de accidentes en el sitio. Se debe usar ropa protectora que incluye el casco y botas. Si el equipo de inspección se va a encontrar cerca de las vías, se deberá usar chaquetas o chalecos de seguridad.

8.2 Medidas de Control de Tráfico

Las medidas de tráfico siempre necesitan ser implementadas cuando el tipo de la inspección del puente requiera un cierre parcial de la vía. Esto ocurre particularmente cuando los trabajos de inspección requieran desde la vía erigir o desmantelar escaleras, cuerdas de acceso, andamios y equipo móvil. A propósito las figuras, tablas y fotografías presentadas en esta sección fueron tomadas del Manual de SIECA.

Cuando el vehículo del equipo de inspección se parquea en frente del área de inspección de la vía del puente, la zona de seguridad debe proveer un área de protección adicional para el personal de inspección. Se debe considerar el uso de un abanderado si es ventajoso. El abanderado se necesita para el control del tráfico cuando se implementa las medidas de control de tráfico que se muestra en la fotografía 8.2.1 y la Figura 8.2.1. Una alternativa para los abanderados es el uso de señales de tráfico temporales.



Foto 8.2.1. Ejemplo de Control de tráfico con banderas en un Proyecto de reconstrucción de la carretera

De las Figuras 11.2.2 a las 11.2.5 muestran inclusive ejemplos típicos de carriles cerrados para proveer un área de trabajo segura para el trabajo de inspección. La distribución muestra un requerimiento mínimo y debe ser adaptado de tomar en cuenta las condiciones de tráfico que incluyen velocidad y el número de vehículos que transitan.

En las siguientes páginas se presentan ejemplos de marcas en áreas de trabajo, y en la Tabla 8.2.1 el espaciamiento entre los puntos de señalización es detallado.

Tabla 8.2.1 Distancia entre Señales (en metros)

Tipo de Vía	A	B	C
Urbana	60	60	60
Rural	150	150	150

Para una velocidad máxima de 60km/h, la fórmula de L se calculará:

$$L=0.6aV$$

En calles urbanas o en autopistas se tiene velocidades menores que 60km/h, se aplica la siguiente fórmula:

$$L=0.4aV^2/150$$

En ambas Fórmulas:

L: igual a la longitud de la línea diagonal en metros

V: igual a la velocidad que corresponde al 85% del tránsito, en Km/h
km/h

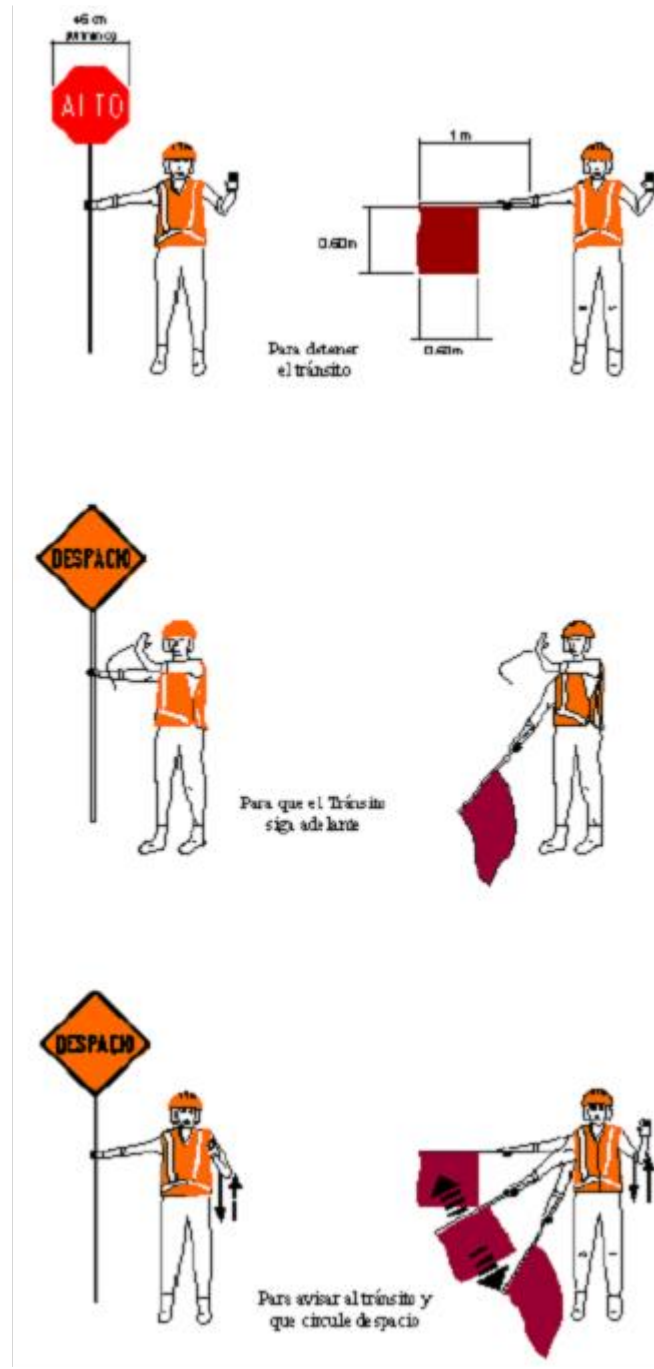


Figura 8.2.1 Tipo de Señales Manuales para el Control de Tráfico con Banderas

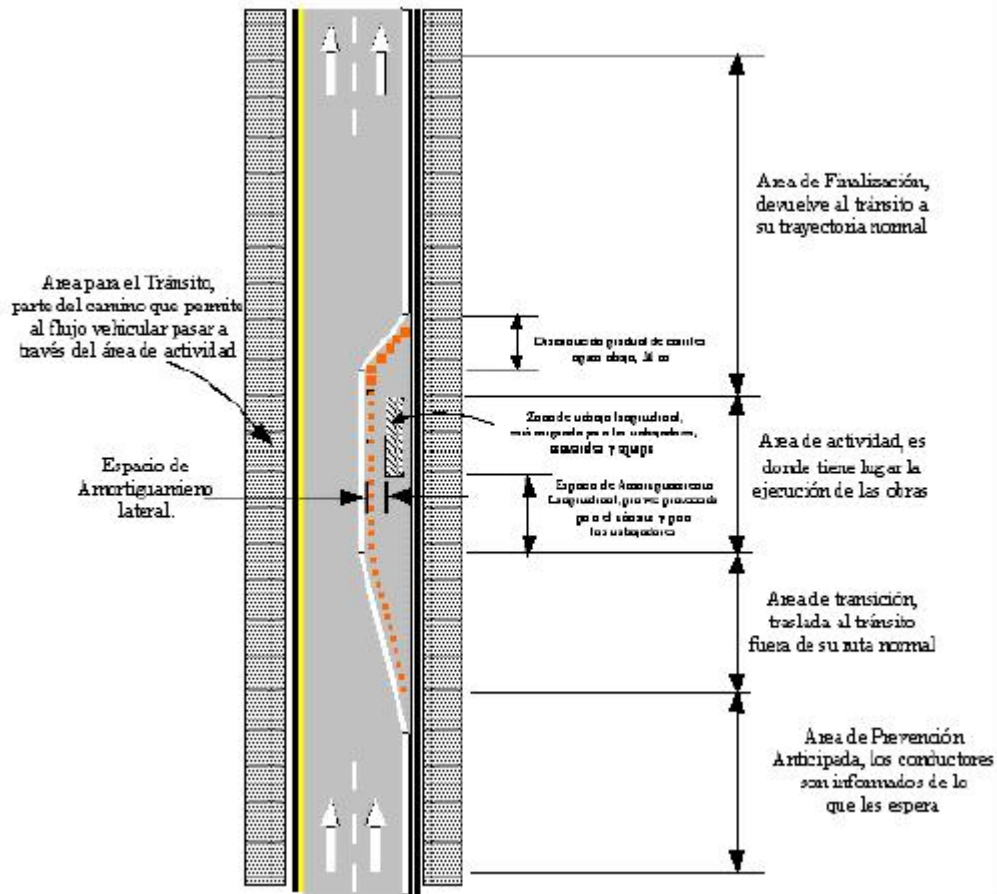


Figura 8.2.2 Componentes de una Zona de Control de Tráfico Temporal

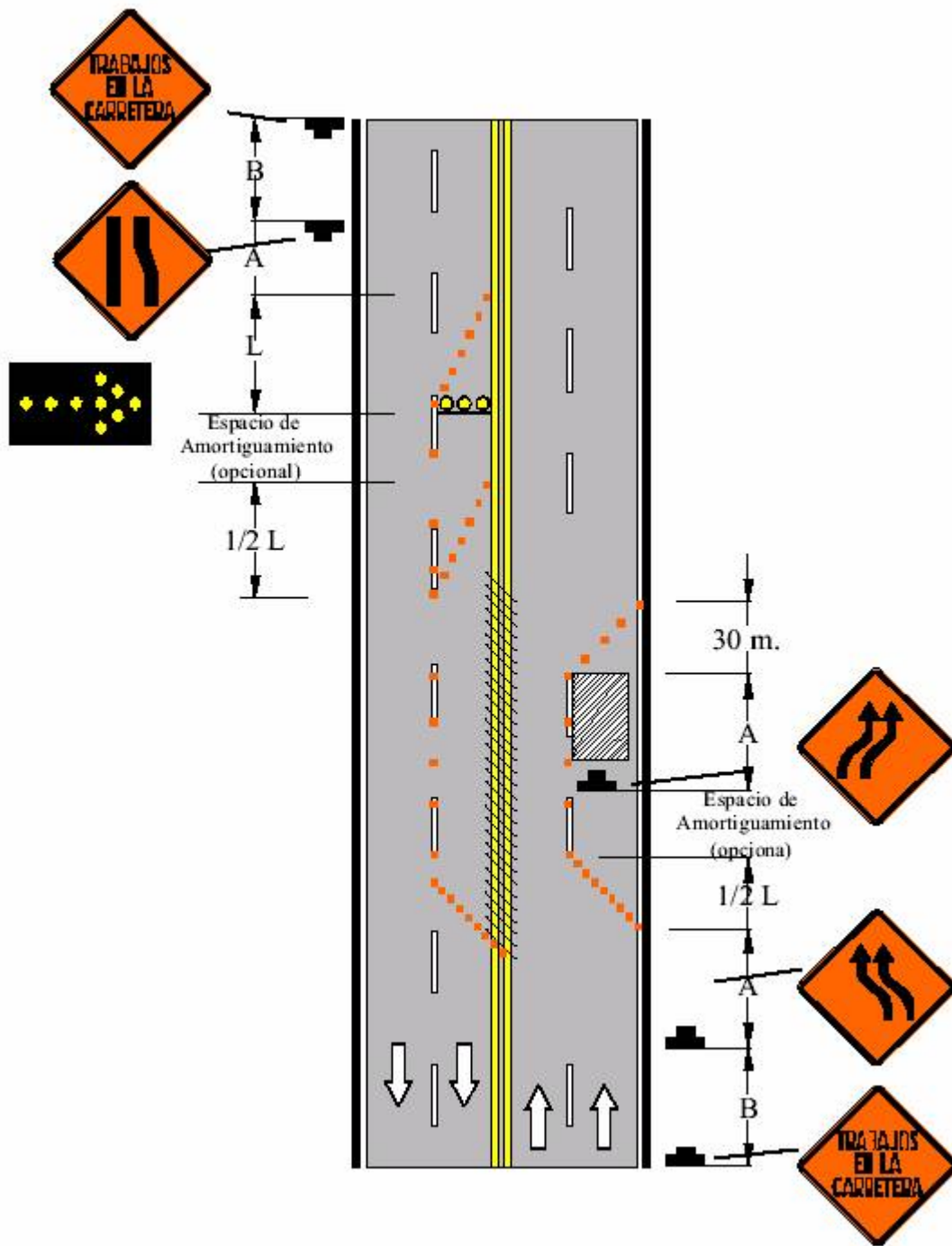


Figura 8.2.3 Configuración Típica de los Dispositivos para cerrar un carril de una vía con un volumen Direccional Desequilibrado

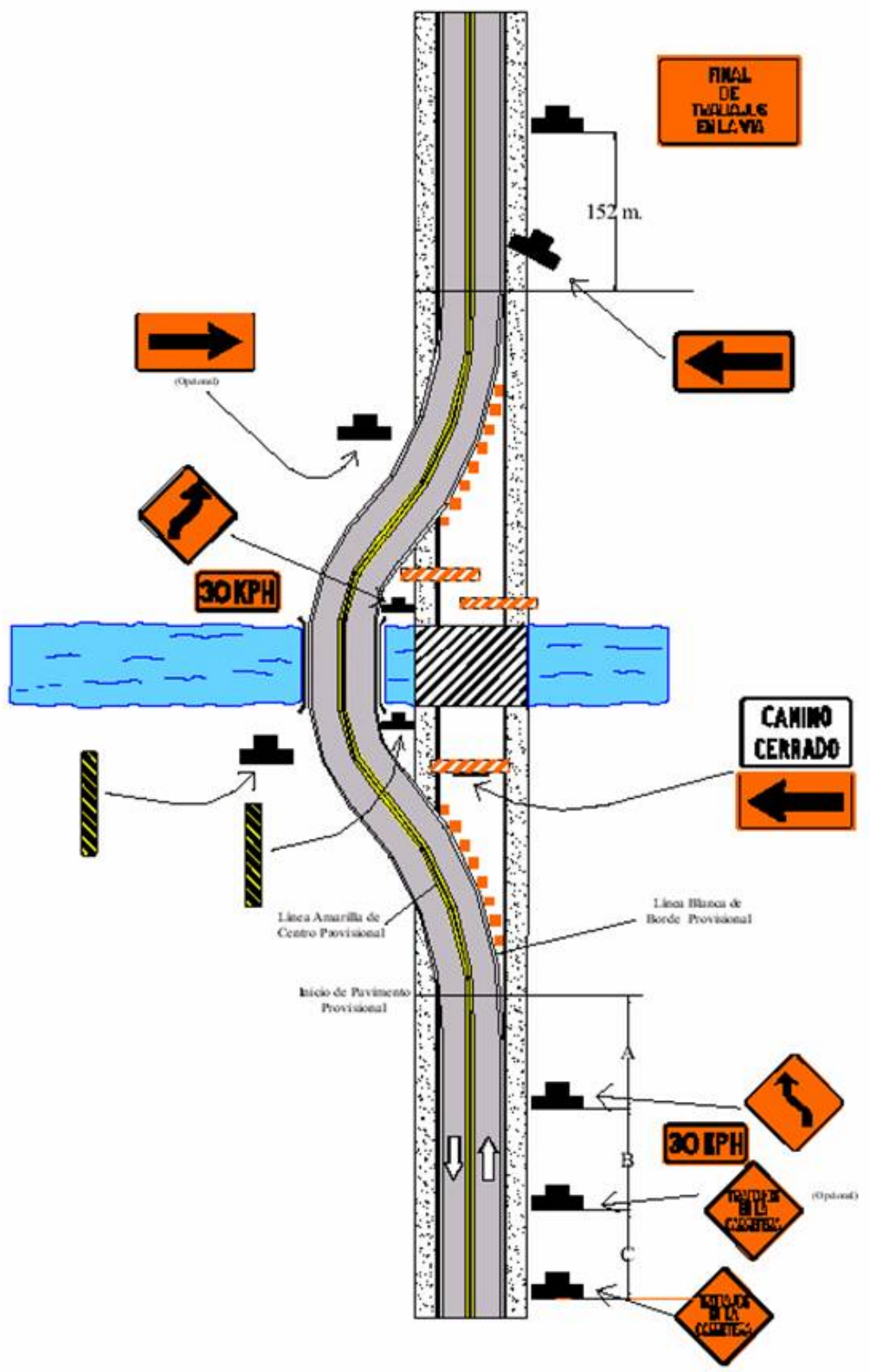


Figura 8.2.4 Configuración de Dispositivos Típica para un Desvío del Río Dado por trabajos en el Puente

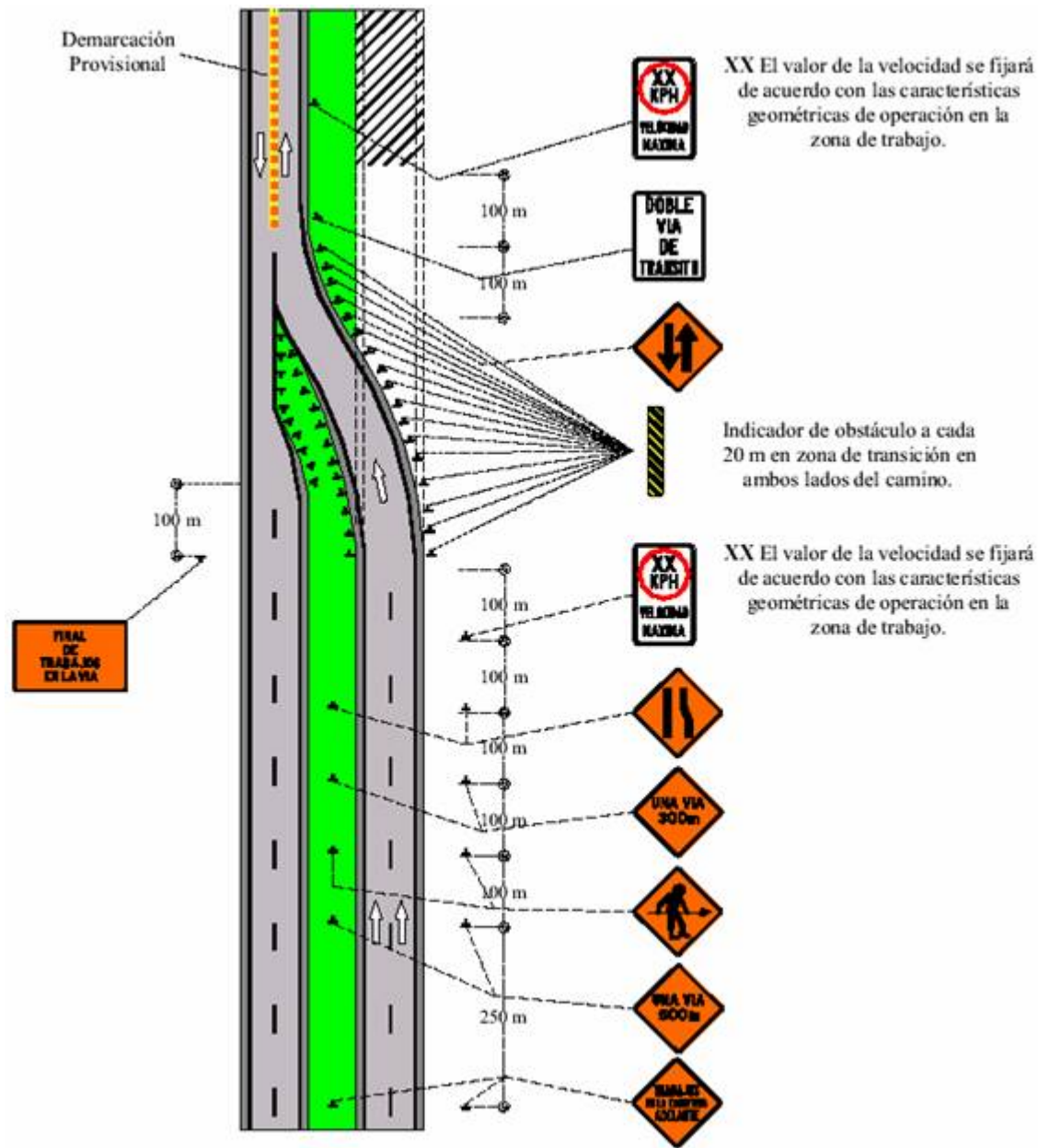


Figura 8.2.5 Configuración de Dispositivos Típica para cerrar una calle de una vía en una carretera de varios carriles.