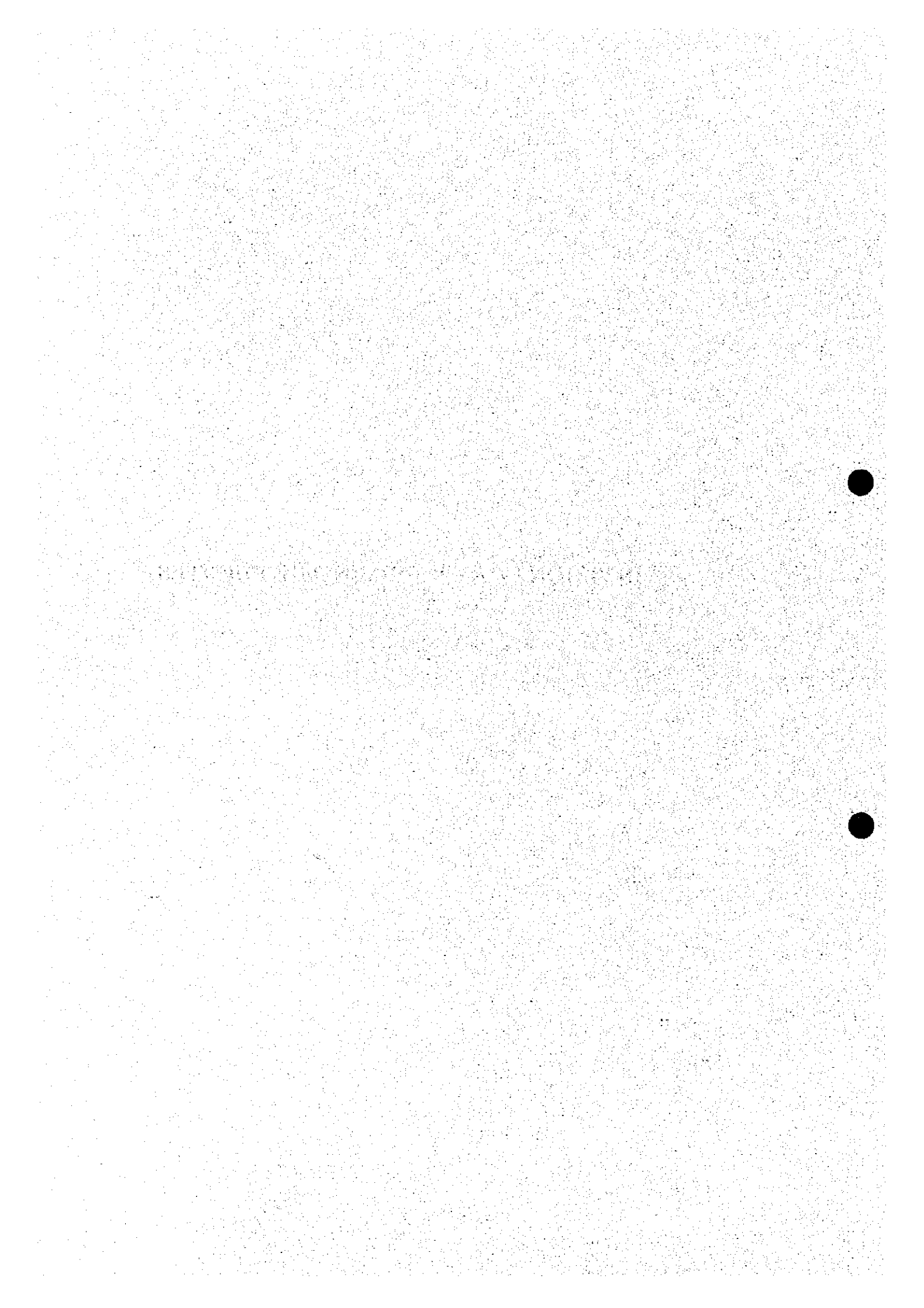


**DIVISIÓN IV**

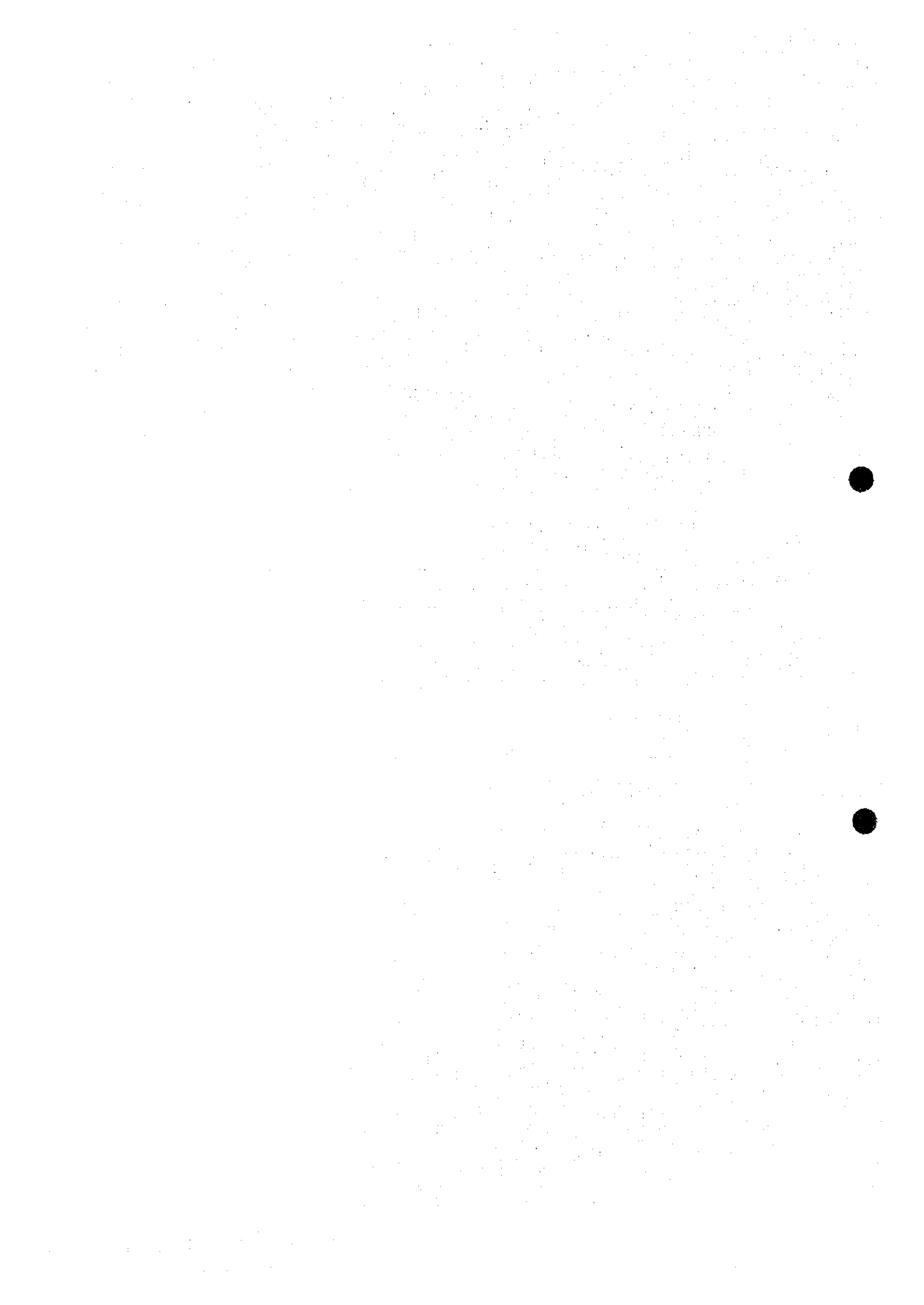
**DISEÑO DE PUENTES**



## DIVISIÓN IV DISEÑO DE PUENTES

### ÍNDICE

	Página
<b>CAPÍTULO 1 GENERALIDADES</b>	
1.1 Alcance.....	IV-1
1.2 Especificaciones.....	IV-1
1.3 Selección de los Materiales y Tipos para la Superestructura.....	IV-2
1.4 Diseño Sísmico.....	IV-3
<b>CAPÍTULO 2 PUENTES DE HORMIGÓN</b>	
2.1 Generalidades.....	IV-4
2.2 Características Generales de Diseño.....	IV-5
2.3 Diseño de las Vigas Compuestas .....	IV-7
2.4 Diseño de Otros Aspectos de los Puentes.....	IV-11
<b>CAPÍTULO 3 PUENTES DE ACERO</b>	
3.1 Generalidades.....	IV-13
3.2 Losas o Tableros .....	IV-14
3.3 Diseño de la Viga Armada .....	IV-14
3.4 Diseño de Miembros Secundarios .....	IV-17
3.5 Protección de las Superestructuras de Acero.....	IV-18
<b>CAPÍTULO 4 INFRAESTRUCTURA</b>	
4.1 Generalidades.....	IV-19
4.2 Infraestructura.....	IV-19
4.3 Fundación.....	IV-23
<b>CAPÍTULO 5 ACCESORIOS DE LOS PUENTES</b>	
5.1 Juntas de Expansión.....	IV-27
5.2 Apoyos.....	IV-28
5.3 Drenaje del Tablero.....	IV-28
5.4 Barandas.....	IV-28



## **DIVISIÓN IV DISEÑO DE PUENTES.**

### **CAPÍTULO 1 GENERALIDADES.**

#### **1.1 Alcance.**

La estructura total de un puente consiste en una superestructura y una infraestructura, la infraestructura está considerada como una parte de la estructura completa y la parte correspondiente a las fundaciones.

El alcance del manual se limitará solamente al uso de pequeños y medianos puentes ubicados generalmente en áreas rurales, que corresponden al propósito del proyecto. De este modo, las estructuras descritas más adelante en el manual de diseño de puentes, son como se muestra abajo;

#### **(1) Superestructura**

- 1) Viga de hormigón pre-comprimida con losa de hormigón  
Viga pretensada  
Viga post-tensada
- 2) Viga de acero con losa de hormigón  
Viga compuesta tipo laminada  
Viga compuesta de alma llena

#### **(2) Infraestructura**

- 1) Estribos de hormigón armado, cepas de hormigón armado,
- 2) Fundación de amarre (dado) de hormigón armado

#### **1.2 Especificaciones**

Por muchos años, el manual básico para el diseño de puentes carreteros ha sido la Standard Specifications for Highway Bridges adoptada por la American Association of States Highway and Transportation Officials (AASHTO).

La última versión de las especificaciones antes mencionadas al momento de confeccionar este manual, corresponde a las del año 1994.

Las especificaciones permiten el uso de las tensiones admisibles de diseño o el factor de carga de diseño, pudiendo utilizar cualquiera de los dos.

Para el diseño se adoptará solamente se adoptará el método de las tensiones admisibles, ya que ha sido convencionalmente usado en Chile.

Las secciones de las especificaciones que están en cercana relación con el manual son:

<b>SECCIÓN 1</b>	<b>ANÁLISIS DEL DISEÑO Y ESTRUCTURA GENERAL DE INTEGRIDAD PARA PUENTES.</b>
<b>SECCIÓN 2</b>	<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL DISEÑO.</b>
<b>SECCIÓN 3</b>	<b>CARGAS.</b>
<b>SECCIÓN 4</b>	<b>FUNDACIONES.</b>
<b>SECCIÓN 7</b>	<b>INFRAESTRUCTURAS.</b>
<b>SECCIÓN 8</b>	<b>HORMIGÓN ARMADO.</b>
<b>SECCIÓN 9</b>	<b>HORMIGÓN PRETENSADO.</b>
<b>SECCIÓN 10</b>	<b>ACERO ESTRUCTURAL.</b>

### 1.3 Selección de los Materiales para la Superestructura y Tipos de Superestructuras.

El tipo de superestructura escogida para un puente, puede estar basado en variados factores, clasificados desde consideraciones de mantenimiento a preferencia personal. Especialmente, algunos de los criterios comúnmente usados en la selección del tipo de superestructura a ser usada son;

- Función del material y disponibilidad
- Velocidad de construcción
- Complejidad del diseño
- Mantenimiento
- Interés medio ambiental
- Costo total

No existen reglas gubernamentales fijas en relación con los factores listados arriba, y que sean más importantes que otros, ciertamente es porque el uso de los tipos de superestructura varían geográficamente.

Las superestructuras generalmente varían de acuerdo al tipo de apoyo (simplemente apoyada o continua), tipo de diseño (losa sobre viga longitudinal, arco, marco rígido, etc.), y por el tipo de material (acero, hormigón, madera, etc.).

Para los miembros principales de la superestructura de un puente, el hormigón (armado y pretensado) y el acero estructural son las principales opciones. Aunque en Chile quedan aún muchos puentes de madera, siendo este material más barato en comparación con otros materiales actuales, no es deseable desde el punto de vista de la conservación del medio ambiente, de este modo el gobierno de Chile decidió no usar la madera como material para los nuevos puentes. El hormigón y el acero poseen los atributos y cualidades deseadas como materiales para los puentes.

En general, los puentes de hormigón y acero pueden ser designados, construidos y mantenidos para asegurar una larga vida. Por otro lado, el puente de madera tiene una vida más corta pero es fácil de construir y mantener.

Algunas ventajas de los puentes de hormigón son:

- No requieren ser pintados.
- No se oxidan (pero son susceptibles a la corrosión).
- Se pueden moldear a la forma deseada (si es hormigón armado).
- El hormigón pretensado, puede ser fabricado más rápidamente que el acero, sin embargo, en algunas emergencias el reemplazo con estructuras de acero, han sido fabricados y montados con mayor rapidez que los miembros pretensados.
- No son susceptibles a fallas por fatiga.

Algunas ventajas de los puentes de acero son:

- Es ligero en peso y permite usar grúas más pequeñas para el montaje.
- Al ser más ligero permite reducir de tamaño la infraestructura, el número de pilotes, etc.
- Se pueden dismantelar fácilmente y volver a utilizar en el mismo lugar o en otro sitio distinto.
- El uso de un montaje convencional y las técnicas de construcción pueden evitar un costo de construcción excesivo, a veces experimentado con dovelas de hormigón.
- La adhesión al puente es realizada fácilmente mediante un apernado o por soldadura.
- Los componentes son accesibles y visibles para una probable inspección.
- Los miembros dañados por colisiones automovilísticas se pueden reparar más fácilmente que los miembros de hormigón.

Para puentes con luces pequeñas a medianas, la selección del material dependerá en que el tipo de puente y material sean los más económicos para un determinado lugar. Esto se sabe a través de la experiencia, con propuestas aceptadas sobre un periodo de tiempo, o puede ser determinado por medio de la toma de propuestas alternativas en los proyectos.

#### **1.4 Diseño Sísmico**

##### **(1) Generalidades**

En regiones dónde los terremotos pueden ser anticipados, las estructuras serán diseñadas para resistir los movimientos sísmicos, considerando la relación del lugar por fallas activas, las características de la respuesta sísmica de la estructura total de acuerdo a las recomendaciones del diseño sísmico de la AASHTO.

El diseño de movimientos sísmicos y las fuerzas especificadas en estas recomendaciones, están basados en una baja probabilidad de sus condiciones excedidas durante la expectativa de la vida normal de un puente. Los puentes y sus componentes que están diseñados para resistir esas fuerzas y que son construidos de acuerdo con el diseño de detalles contenidos en las recomendaciones pueden sufrir daño, pero se tendrá una baja probabilidad de colapso debido a la vibración del terreno sísmicamente inducida.

Los principios usados para el desarrollo de las recomendaciones son:

- 1) Pequeños a moderados terremotos serán resistidos dentro del rango elástico de los componentes estructurales sin un daño significativo.
- 2) Las intensidades naturales del movimiento sísmico del terreno y las fuerzas usadas en el procedimiento de diseño.
- 3) La exposición a la vibración de terremotos prolongados, no deberá provocar un colapso en la totalidad de los componentes del puente. El posible daño que ocurra, se deberá detectar fácilmente y a la vez ser accesible para la inspección y reparación.

##### **(2) Aplicabilidad de las Normas**

Aquellas normas son confeccionadas para el diseño y construcción de los puentes nuevos, tendientes a resistir el efecto de los movimientos sísmicos. Las recomendaciones aplicadas a los puentes de viga convencional de acero y hormigón, y la construcción de vigas cajón con luces que no excedan los 150 metros. Los puentes colgantes, atirantados, tipo arco y puentes mecanos, no son cubiertos por estas normas.

Las recomendaciones especificadas en esas normas, corresponden a mínimos requerimientos.

## CAPÍTULO 2 PUENTES DE HORMIGÓN

### 2.1 Generalidades

#### (1) Tipos de Puentes de Hormigón

Las mayores ventajas en el uso del hormigón para puentes, es la economía en pequeñas y medianas luces, durabilidad, bajos costos de mantenimiento y fácil adaptación a las formas requeridas. Los tipos principales de puentes hormigonados in-situ son el de losa armada longitudinalmente, viga armada o viga - T, y viga celular o viga cajón. La construcción de puentes de hormigón precomprimido con elementos pre-vaciados, usualmente se conforma con elementos tales como vigas I, vigas T o vigas de sección cajón. El rango de luces de varios tipos de puentes de hormigón, está dado en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1 Tipo de Puente de Hormigón y Longitud de la Luz

Tipo de Puente de Hormigón	Luz de los tramos (m)			
	10	20	30	40
Losa de H.A.	—			
Viga tipo T de H.A.		—		
Viga tipo Gerber de H.A.			—	—
Viga tipo Cajón de H.A.			—	—
Losa Pre-tensada	—	—		
Viga Compuesta Pre-tensada		—	—	
Viga Compuesta Post-tensionada			—	—
Viga Cajón Post-tensionada				—

#### (2) Puente de Hormigón Pre-comprimido

El procedimiento normal de diseño para vigas de hormigón pre-vaciadas/pre-comprimidas, está hecho para esfuerzos de trabajos admisibles; para revisar el esfuerzo inicial y capacidad de momento último. Más diseños para este tipo de sección, utilizan el pretensado, en el cual los torones son sometidos a esfuerzos antes de que el hormigón sea vaciado alrededor de ellos. Cuando el hormigón ha alcanzado una resistencia suficiente, los torones son cortados y el pretensado es transferido a las vigas. Algunos post-tensados son usados en ocasiones en elementos pre-vaciados. Los ductos son ubicados en la sección y los torones instalados, después el hormigón es vaciado y curado. Después de que el hormigón ha curado, los torones son tensados con gatos hidráulicos, anclados e inyectados con una lechada de hormigón.

Para vigas de hormigón pre-vaciadas/pre-comprimidas, se utiliza un hormigón cuya resistencia es de 350-420kg/cm<sup>2</sup>. La resistencia en la transferencia de pre-compresión, usualmente se encuentra en un rango desde 280 a 350 kg/cm<sup>2</sup>; aportado por torones de siete alambres con un diámetro de 1/2pulg cada uno, usados comúnmente como el principal elemento de pre-compresión.



## 2.2 Características Generales de Diseño

### (1) Distribución de Carga

El análisis para "superestructuras poco profundas", es decir, la losa sólida, losa ahuecada y losa sobre viga tipo que en Europa y Japón son altamente analizadas y usualmente diseñadas por computadoras. Tales métodos son los análisis de cuadrícula, el método de la placa ortotrópica y el método de elementos finitos. Para "estructuras poco profundas" de hormigón pretensado, el método Guyon-Massonnet que está basado en el método de la placa ortotrópica, ha sido usado en Japón desde 1955.

Por otro lado, el método de análisis de la AASHTO, es el método simplificado para la obtención de momentos y cortes longitudinales debido a las sobrecargas que han sido usadas en Estados Unidos por muchos años.

De acuerdo a este método, una viga longitudinal, o una faja de ancho unitario en el caso de las losas, es aislada del resto de la estructura y tratado como una viga uni-dimensional. La viga esta sujeta a una línea de cargas de compresión de ruedas del vehículo de diseño multiplicado por una fracción de carga  $S/D$ .  $S$  es el espaciamiento de viga en el caso de puentes con losa sobre viga, ó 1 unidad de ancho en el caso de puentes con losa; y  $D$ , que tiene las unidades de longitud, se especifica para tener un valor certero de acuerdo al tipo de puente. Los valores de  $D$  para varios puentes con losa sobre viga, como se da en las especificaciones de la AASHTO.

### (2) Seguridad Provista en el Código ACI

La seguridad provista en el código ACI es que el factor de carga  $\gamma$  y los factores de reducción de resistencia dan un factor de seguridad (FS) total basado en los tipos de carga, tal que

$$FS = \frac{\gamma_1 D + \gamma_2 L}{\phi(D + L)}$$

donde  $\phi$  es el factor de reducción de esfuerzos,  $\gamma_1$  y  $\gamma_2$  son los respectivos factores de cargas para la carga muerta  $D$  y la línea de carga  $L$ . La resistencia nominal es reducida usando un factor de reducción de esfuerzo  $\phi$  tomando en cuenta la precisión en construcción, tal como en las dimensiones o posición de armadura o variaciones en las propiedades.

- Factor de carga ( $\gamma$ )  
 $\gamma_1 = 1,4 \quad \gamma_2 = 1,7$
- Factor de reducción de resistencia ( $\phi$ )

	Para Flexión	Para Corte y Torsión
Vigas de Hormigón Armado	0.90	0.85
Vigas Pretensadas	1.00	0.90
Vigas Post-tensadas	0.95	0.90

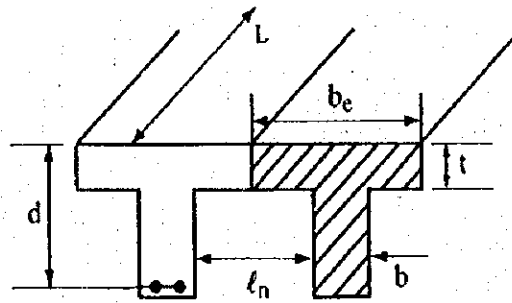
### (3) Ancho Efectivo de ala

Aunque se asume que el esfuerzo es uniforme a través del ancho entero del ala, actualmente el esfuerzo disminuye en gran medida desde el alma. Por lo tanto, el código AASHTO limita el ancho del ala superior de la sección compuesta. El ancho efectivo se ha modificado para tomar en cuenta la

diferencia en el módulo de la capa final del hormigón y del hormigón pre-vaciado.

$$b_m = \frac{E_{ct}}{E_c}(b_e) = n b$$

dónde  $E_{ct}$ : módulo de la capa final del hormigón  
 $E_c$ : módulo del hormigón pre-vaciado



$$b_e \leq \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{4} L \\ b + 12t \\ b + l_n \end{array} \right.$$

#### (4) Momento Flector en la Losa del Puente

Por muchos años el diseño de las losas de los puentes ha sido hecho usando relaciones empíricas dadas en la especificación AASHTO. Relaciones que se han basado en el trabajo de H.M. Westergaard, están dadas por losas que tienen su principal luz perpendicular a la dirección del tráfico, además de las losas que tienen sus principales luces paralelas a la dirección del tráfico.

#### (5) Pérdida de Pre-compresión

La reducción de la fuerza de pre-compresión puede estar agrupada en dos categorías:

- Pérdida inmediata elástica durante el proceso de construcción, incluyendo el acortamiento elástico del hormigón, pérdidas de anclajes, y pérdidas de fricción.
- Pérdidas dependientes del tiempo tales como fluencia, retracción, y relajación del acero, todas las cuales son determinables en la carga de servicio del estado límite de esfuerzos en las vigas de hormigón pre-comprimadas.

Las pérdidas de pre-compresión mencionadas arriba, excepto las pérdidas de anclaje, son cubiertas en la especificación AASHTO.

#### Pérdidas de Anclajes

Las pérdidas de anclajes ocurren en vigas post-tensadas debido al asentamiento de las cuñas al anclar, cuando la fuerza del gato es transferida al anclaje. Generalmente, la magnitud en la pérdida por asentamiento de anclaje está en el rango entre 6,5 m/m y 10,0 m/m. Si  $\Delta L$  es la magnitud del

desplazamiento,  $L$  es la longitud del tendón, y  $E_s$  es el módulo de los alambres pretensados, la pérdida de esfuerzos es fácilmente calculada por

$$\Delta s = \frac{\Delta L}{L} E_s$$

### Suma alzada de estimación de pérdidas

Si el tamaño de vigas, luces, materiales, procedimiento de construcción, cantidad de fuerza de pre-compresión, y condiciones medio ambientales, son comunes, así como vigas de pequeñas y medianas luces simples, entonces es apropiado el uso de la suma alzada estimada de pérdidas, las que son proporcionadas en las especificaciones de la AASHTO. Se notará que las pérdidas debido a la fricción, no son incluidas en los valores para vigas post-tensadas.

## **2.3 Diseño de las Vigas Compuestas**

### **(1) Sección Transversal de Viga**

La viga simplemente apoyada de luz pequeña requiere de un alma relativamente gruesa debido a los esfuerzos de corte. Se requiere de una gran ala inferior para proporcionar la fuerza de pretensado, y el tamaño del ala superior es relativamente pequeña ya que la sección transversal con forma I es modificada. Para vigas de grandes luces, la flexión es la primera consideración de diseño. Ya que el gran volumen de momentos se debe a los pesos propios, considerando además que puede estar actuando en el momento de la pre-compresión, no se requiere de una gran ala inferior. Para un ala superior substancial, es necesaria una viga con sección transversal T.

Una consideración adicional de lo que se presenta a continuación, es que las vigas pre-comprimidas pre-vaciadas de diseño óptimo, tendrán diferentes formas para diferentes luces. Generalmente se habla de secciones I, T y cajón; con alas y almas relativamente gruesas, son las secciones transversales más eficientes. Diferentes formas de sección transversal para los puentes estándar, son usadas en U.S.A., Gran Bretaña y Japón.

En Gran Bretaña, las vigas-T invertida o vigas-H pretensadas y la viga post-tensada tipo cajón, han sido usadas como vigas para puentes estándar. Las vigas con forma T exacta, son corrientemente usadas para los puentes estándar en Japón desde el punto de vista de una fácil construcción.

Las secciones transversales de puentes estándar en Chile son vigas de forma I o T, similar a las vigas estándar de la AASHTO (tipo I ~ Tipo IV).

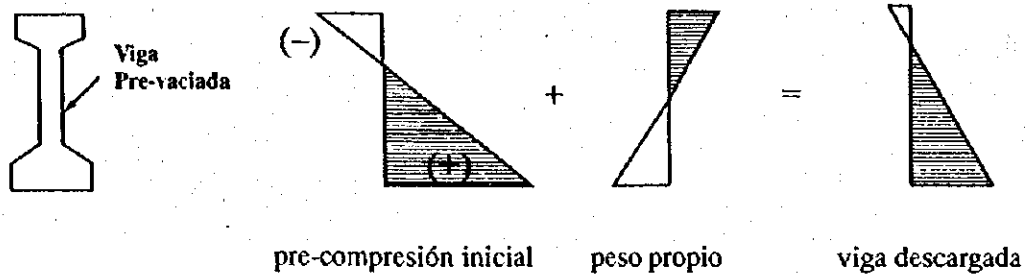
### **(2) Distribución de Esfuerzos en el Hormigón.**

Las vigas y las losas de piso están unidas por conectores de corte, por los cuales son combinadas a trabajar solidariamente juntas.

En un puente compuesto con viga de hormigón pre-comprimido, por causa de la distribución de esfuerzos en la misma sección cambia dependiendo de los procesos y secuencia de construcción, los esfuerzos en las respectivas etapas de construcción antes y después de la composición deben calcularse para obtener el esfuerzo combinado para la sección respectiva. La distribución de esfuerzos en el hormigón debido a la acción compuesta, son mostrados en la Figura 4.1. El esfuerzo en el hormigón debido al esfuerzo por diferencia de fluencia y retracción del hormigón no es un efecto severo, ya que la parte superior e inferior de la viga están en la zona de compresión y tensión respectivamente, en la viga simplemente apoyada.

(a) viga descargada, con pretensado inicial más el peso propio

(+) = compresión (-) = tracción



(b) viga cargada, con esfuerzo efectivo, peso propio y carga de servicio total

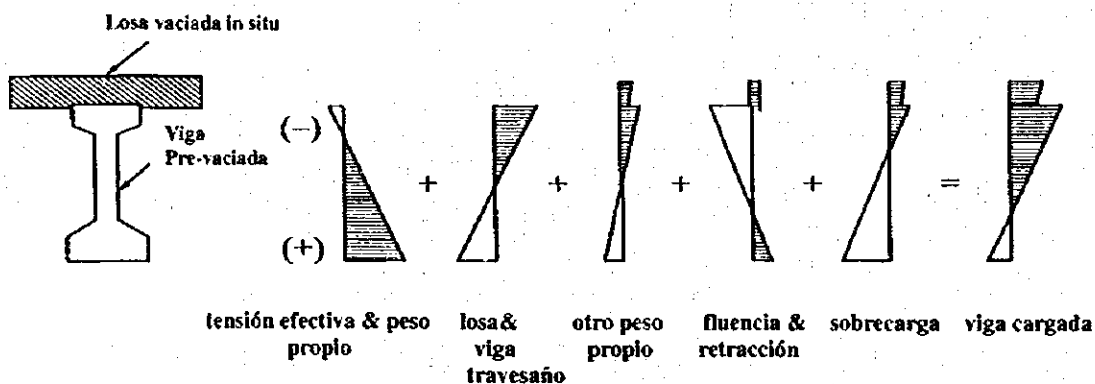


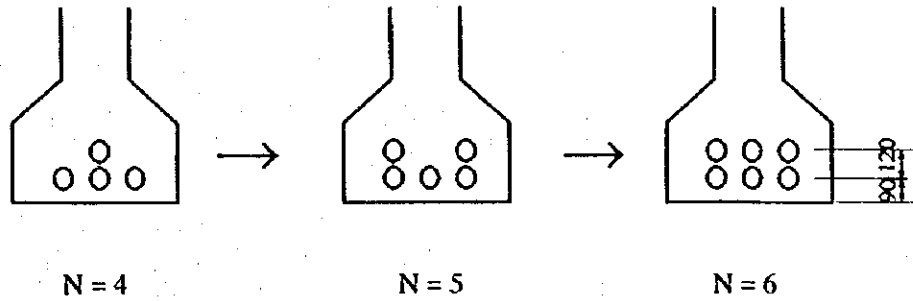
Figura 4.1 Distribución de Esfuerzos en el Hormigón.

### (3) Guías Generales para los Detalles Estructurales

#### (a) Viga Principal

- La razón entre la altura de la viga y la luz, normalmente se emplea el rango de 1/15 a 1/20
- El espaciado de viga será menor que 3,0m
- Los espesores del alma serán de 18 a 20cm
- El cambio en el espesor del alma será adelgazado para una distancia mínima de 5 veces la diferencia en el espesor del alma
- La distancia entre el extremo de la viga y el apoyo
  - 300 mm para 14 ~ 24m de longitud de la luz
  - 400 mm para 24 ~ 36m de longitud de la luz

- Disposición básica de los tendones para viga post-tensada



**(b) Sección transversal de la viga**

- La sección transversal de la viga, será proporcionada en un apoyo de la viga principal. Una o más secciones transversales de las vigas se proporcionarán generalmente en cada luz en un intervalo, no excediendo los 15m.
- El espesor mínimo de la sección transversal de la viga será de 25 a 30cm.

#### (4) Diagrama de Flujo del Diseño a la Flexión

La Figura 4.2 muestra un diagrama de flujo para el diseño a la flexión de vigas pretensadas.

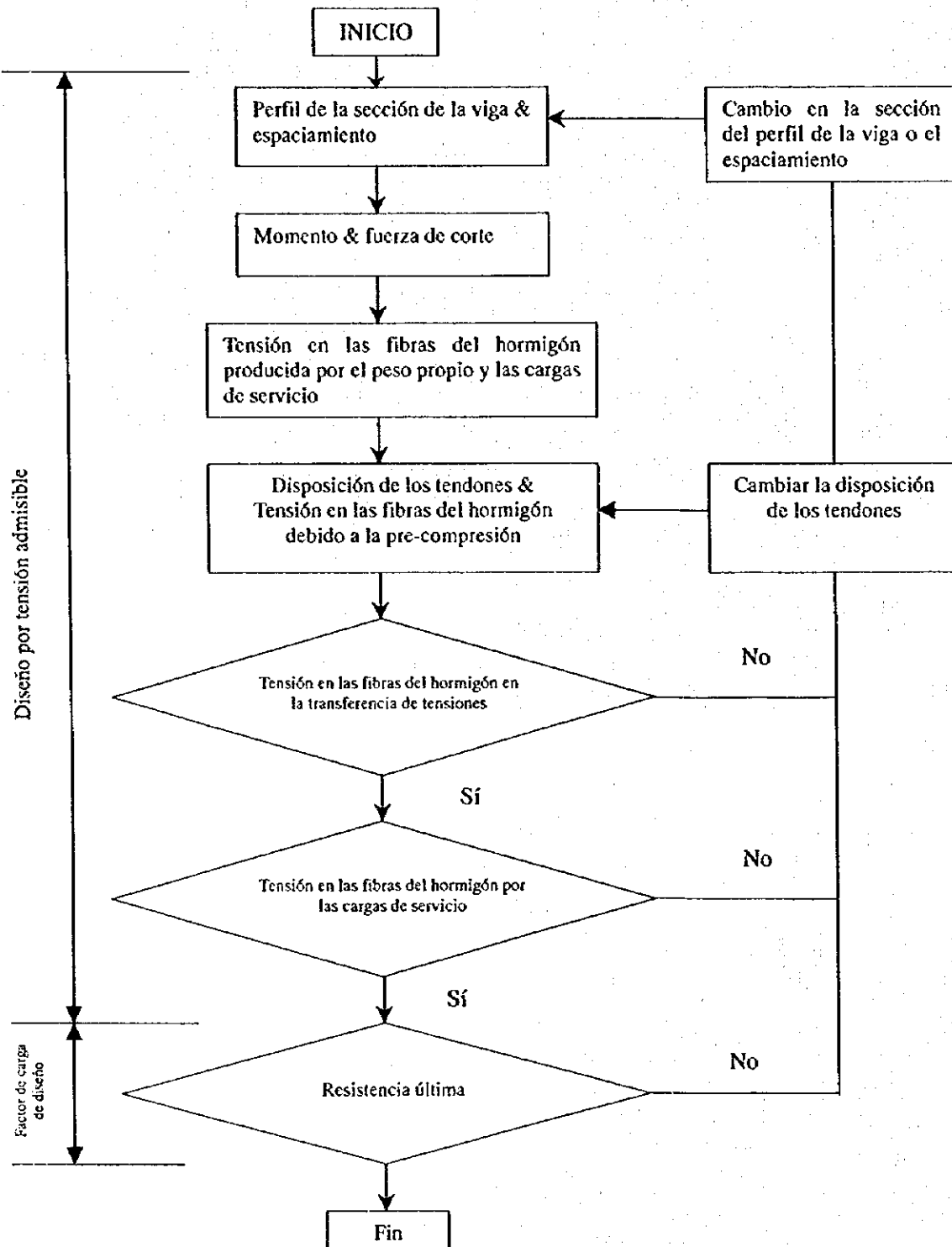


Figura 4.2 Diagrama de Flujo del Diseño a la Flexión

## 2.4 Diseño de Otros Aspectos de los Puentes

### (1) Deflexión o Flecha de vigas

Cuando en primer lugar, se aplica la fuerza de pre-compresión en la viga, normalmente se genera una contraflecha. Con el paso del tiempo, la retracción y fluencia del hormigón, causarán una reducción gradual de la fuerza de pre-compresión. Pese a esto, la contraflecha aumentará, debido a la fluencia diferencial, afectando en gran medida las fibras inferiores sometidas a esfuerzos, más que las fibras superiores.

La flecha para vigas pre-comprimidas sin agrietamientos, son las siguientes;

#### (1) Flecha debido al peso propio y a las cargas de servicio

$$\delta = \frac{5M\ell^2}{48EI}$$

donde M = Máximo momento por carga en la mitad de la luz

#### (2) Flecha de pre-compresión

$$\delta_p = \frac{M_p \ell^2}{9EI}$$

donde  $M_p$  = Máximo momento por pretensado en la mitad de la luz

#### (3) Flecha debido a la fluencia del hormigón

$$\delta_c = Cc(\delta_d + \delta_{pe})$$

donde Cc = Coeficiente de fluencia

$\delta_d$  = Flecha debida a los pesos propios

$\delta_{pe}$  = Flecha debido a la pre-compresión efectiva

### (2) Desadherencia de la Viga Pretensada

A causa de los cambios en los esfuerzos inducidos por la aplicación de cargas en diferentes secciones a lo largo de una viga, el uso óptimo de la pre-compresión, requiere que la posición de los tendones cambie dentro de la sección desde un punto a otro a lo largo de su longitud. En el post-tensado, esto es realizado sin dificultad mediante la fijación de los ductos para los cables en el perfil requerido antes de vaciar el hormigón. Donde se usa el pretensado, esto obviamente no se puede hacer, ya que el tendón es previamente esforzado para hormigonar. El tendón puede ser tirado o deformado desde su línea recta para aproximarse al perfil ideal, pero estos "apuntalamientos" añaden más complejidad al procedimiento de tensado y se considera solamente apropiado para grandes unidades. Una técnica alternativa para simular el efecto de un perfil, es aquella tendiente a romper la adherencia entre los tendones seleccionados y el hormigón circundante cercano a los extremos de la unidad. Esta "desadherencia" es alcanzada por la ubicación de camisas sobre los tendones seleccionados y de este modo, se interpreta que no es efectivo en ese punto. Usualmente se utiliza un ducto plástico para este propósito.

**(3) Extremo o Nariz Gerber (detalle de la unión en el extremo de la viga)**

Una nariz Gerber es una estructura con una profundidad reducida en su extremo en orden a proporcionar el asiento en cartela (voladizo) o una parte de la rótula Gerber, sin pérdida de altura libre entre el piso.

Se pueden desarrollar dos tipos de roturas, tal como las roturas de corte directo y las roturas de tensión diagonal causadas por la flexión y tensión axial, en la extensión reducida de profundidad y la concentración de esfuerzos en la esquina.

- (1) Una esquina de una muesca de una nariz Gerber ha de romperse fácilmente debido a la concentración de esfuerzos, por lo tanto será generalmente proporcionado por una cartela.
- (2) En una nariz Gerber, la flexión, el corte y las armaduras para la tracción diagonal serán ordenadas y ancladas con una suficiente longitud de anclaje para la parte donde no hay muesca.

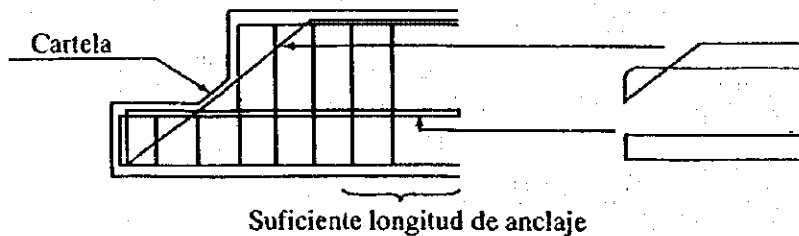


Figura 4.3 Anclaje de las armaduras en el extremo de la viga Gerber.



## CAPÍTULO 3 Puentes de Acero

### 3.1 Generalidades

#### (1) Longitud y Tipo de Luz

Existen varios tipos de puentes de acero. Estos son clasificados en puentes con viga armada, puentes reticulados, puentes en arco, puentes atirantados y puentes colgantes. El proyecto pretende una rehabilitación de los puentes de pequeñas y medianas luces, por lo tanto, de ahora en adelante los puentes con viga armada, o en otras palabras, los puentes con losa sobre vigas longitudinales serán principalmente a los que se hará referencia.

Desde el punto de vista de los tipos de apoyos, una luz simplemente apoyada es probablemente la configuración estructural más común, porque son convenientes para luces pequeñas a medianas, seguras contra un asentamiento diferencial y además su análisis no es complicado. Consisten de un tramo apoyado en un extremo sobre un apoyo fijo y el otro extremo sobre un apoyo móvil. Cuando un puente consta de una serie de luces simples, no existen esfuerzos de transferencia entre los tramos adyacentes. En una unidad continua, el sistema de la superestructura es continuo sobre uno o más apoyos. Los beneficios asociados pueden ser la reducción en el tamaño y menos juntas o uniones en la losa. Las luces en voladizos sucesivos se pueden introducir en los sistemas de puentes, si esta solución en su configuración estructural es simple y económica. Los voladizos sucesivos pueden ser usados en combinación con luces colgantes, las cuales se pueden conectar a la parte en voladizo por medio de una unión o por un pasador.

Una relación entre los tipos de puentes de viga armada y la longitud de la luz conveniente, es mostrada a continuación.

Tabla 4.2 Tipo de Puente de Acero y Longitud de los Tramos

Tipo \ Tramo(m)	10	20	30	40	50	60	70	80
Viga Compuesta S.A. tipo H del puente		—						
Viga Compuesta S.A. Armada del Puente			—	—				
Viga Compuesta S.A. tipo Cajón del Puente					—	—		
Viga Continua para Puente				—	—			
Viga Continua tipo Cajón					—	—	—	

#### (2) Construcción Compuesta

La losa para puentes con viga de acero y viga armada puede ser diseñado y construido sobre las bases de cualquier de los comportamientos ya sean compuesto o no-compuesto. Con una construcción compuesta, el área efectiva de la losa puede ser calculada y usada para determinar el momento de resistencia de la sección. El número requerido de conectores de corte puede ser calculado y suministrado. Esto son generalmente por pernos cuyas cabezas son soldada al ala superior. La economía total depende de los costos de instalación de los conectores de corte y de la reducción en peso del acero que se puede obtener.

Sin embargo, la construcción compuesta es frecuentemente la elección más económica.

### (3) Diseño Económico

La sugerencia para una máxima economía en puentes con vigas de acero y vigas armadas, se puede resumir en lo siguiente;

- Desarrollar y tomar ofertas en tantas alternativas de diseño como práctica. Incluyendo vigas laminadas y armadas, y detalles alternativos tales como platabandas para vigas laminadas.
- Considerar en general aceros de gran resistencia.
- Considerar vigas con un espaciamiento mayor y desarrollar comparaciones realistas de costos.
- Evaluar cuidadosamente los cambios en el tamaño de la placa del ala, porque los empalmes de las alas son costosas. Considerar permitir al fabricante la opción de continuar la placa más pesada para eliminar los empalmes.

### 3.2 Losas o Tableros

Las losas o tableros para puentes de acero, se pueden construir de madera, hormigón o acero.

#### (1) Tableros de Madera

Para los puentes en caminos sin pavimentar o caminos de bajo volumen de tránsito emplazados en sectores rurales, los tableros de madera pueden lograr ser serviciales. Pero la madera se encuentra en gran desventaja debido a su alto costo y a su corta durabilidad. La elección se centra entonces entre el acero y el hormigón.

#### (2) Losas de Hormigón hormigonadas in-situ.

Cuando el peso o la velocidad de construcción no son pre-requisitos, las losas hormigonadas in-situ prevalecen porque fácilmente se logran conformar a la parte superior del apoyo de la superestructura y para el perfil de la superficie requerida. En las losas hormigonadas in-situ también se logra que el hormigón se acomode fácilmente a la vereda peatonal y quede fuera de las barreras de seguridad. Este tipo de losa es quizás la más común y barata.

#### (3) Tableros de acero

Muchas veces el peso del tablero necesita ser minimizado. Esto es una realidad cuando se necesita reemplazar el tablero sobre una estructura existente de resistencia limitada. Este es uno de los tipos de tableros más caro.

### 3.3 Diseño de la Viga Armada

#### (1) Tipos de Vigas Armadas de Acero

Existen dos tipos de vigas armadas de acero que son frecuentemente usadas como un componente principal de una composición o no composición de viga armada, estas son las vigas laminadas y las vigas de placas.

##### 1) Viga laminada

La viga laminada es una viga armada de acero que ha sido formada por un laminado caliente. El tipo más común de viga laminada usada como miembro principal en puentes carreteros es la variedad de ala ancha. Pero en Chile, la "viga laminada" es usualmente fabricada y ensamblada por soldadura para darle la forma.

Para mantener una economía de material, las vigas laminadas son a veces equipadas con una placa rectangular, o platabanda, en el ala inferior. La platabanda aumenta la capacidad de la viga longitudinal para resistir la flexión sin la necesidad de llegar a necesitar el uso de una viga laminada de gran tamaño o una viga armada. Como veremos, sin embargo, la platabanda también aumenta el potencial por daño a la fatiga a través de la introducción en las concentraciones de esfuerzos en los extremos de la placa.

Las características del uso de la viga laminada son que el alma de la placa es lo suficientemente gruesa y permiten omitir tanto los atiesadores verticales como los horizontales. El ala superior tiene la misma sección que el ala inferior, lo que significa no necesariamente una gran sección del ala superior en términos de un esfuerzo de trabajo comparado con esfuerzo admisible. En otras palabras, la ventaja del uso de una viga laminada, es que el trabajo empleado en su fabricación se puede minimizar mediante el uso de materiales voluminosos.

## 2) Viga Armada

Una viga armada, tal como la viga laminada, tiene una sección transversal del tipo I. La viga laminada resulta de un proceso de laminado en caliente, sin embargo, la viga armada está construida sobre la base de elementos de placas de acero, que se conectan juntos con soldadura o pernos. Para los modernos puentes carreteros, el método de la soldadura en taller es el más predominante. Desde que el diseñador especifica las propiedades de la sección de la viga longitudinal (es decir, ancho del ala y espesor, espesor del alma, etc.), resulta una gran economía de materiales. La viga armada tiene una ventaja sobre las vigas laminadas, ya que se puede alcanzar una longitud mucho mayor en la luz (ver Tabla 4.2).

## (2) Disposición de las Vigas

### 1) Generalidades

En algunas ocasiones debido a la topografía de un lugar determinado, puede ser necesario el uso de puentes curvos o esviados, sin embargo debe hacerse un esfuerzo para planificar puentes rectos, absorbiendo tantas condiciones difíciles como sea posible sólo en las zonas de los caminos de aproximación.

En caso de que un puente esviado, cuyo ángulo sea mayor a sesenta grados, no se pueda evitar, entonces es más conveniente considerar un puente de viga armada no compuesta que uno con de vigas compuestas.

### 2) Número y Espaciamiento de Vigas Armadas

Una disposición de las vigas armadas significa determinar el número y espaciado de las vigas. En orden a alcanzar un diseño económico, se deben comparar varias alternativas de combinación entre el número y espaciamiento de las vigas, poniendo atención para mantener un balance de los momentos flectores al interior y exterior de las vigas.

Usualmente las vigas son espaciadas uniformemente, separadas de dos a cuatro metros, y la longitud proyectada de una losa es uno a dos metros. Pero en raras ocasiones, cuando la profundidad de las vigas es severamente limitada, pueden ser ubicadas muchas vigas cercanas entre sí, lo que desde luego puede resultar antieconómico.

### 3) Determinación del Espesor del Alma

El mejor espesor del alma se obtiene por una comparación de varias alternativas de

espesores.

Usualmente la razón óptima entre el espesor del alma y la longitud de la luz está en rangos entre 1/19 y 1/22 en el caso de acero compuesto por vigas laminadas con forma de H o compuesto por vigas armadas.

#### 4) Determinación de la sección transversal

El espesor requerido de la plancha del alma es relacionado con el uso de los rigidizadores o atiesadores vertical y horizontal. Para reducir el espesor y así de este modo, ahorrar acero, los rigidizadores son pegados a la plancha del alma mediante soldadura. Esas relaciones son especificadas en las cláusulas de la AASHTO.

Cuando el ala es muy ancha, el ancho total no trabaja efectivamente como una parte de la sección de la viga principal debido al revestimiento de corte, pero cuando es muy estrecha, entonces la viga armada principal es vulnerable al momento flector alrededor del eje menor. Es deseable que los rangos de ancho del ala estén entre 1/5 y 1/3 del espesor del alma.

### (3) Disposición de los Atiesadores

- 1) Pueden ser ordenados o no, en una capa de rigidizadores horizontal para una longitud de luz entre los catorce (14) y los cuarenticinco (45) metros.
- 2) Los atiesadores horizontales trabajan efectivamente más, cuando estos están pegados en el veinte por ciento de la altura del espesor del alma, medido desde lo alto del alma.
- 3) En el caso del arriostramiento lateral, este es dispuesto en una forma de letra-V, se recomienda que el atiesador vertical se disponga de una manera tal, de dividir la distancia entre los marcos transversales vecinos en cuatro o seis. El espacio mínimo requerido del atiesador vertical obtenido, está de acuerdo con las especificaciones de la AASHTO.

### (4) Diseño del Área de Unión de Pernos

#### 1) Ubicación del área de conexión

En orden a averiguar la ubicación conveniente del área de conexión o unión, deberán mantenerse las condiciones descritas a continuación:

- Ha de ubicarse en casi la mitad, entre los dos atiesadores verticales vecinos.
- Es preferible determinar la ubicación de tal manera de obtener longitudes de bloques de vigas armadas similares, lo que es conveniente para el transporte de dichos elementos.
- Es deseable, en el caso del apernado, que el área de conexión esté ubicada donde no sea necesario armadura de tensión en la placa de la ala, porque existe una pérdida de área de la sección debido a la perforación para el perno.

#### 2) Uso de pernos de alta resistencia

En Chile, las vigas de acero han sido conectadas con soldadura por mucho tiempo. Pero los pernos de alta resistencia son comúnmente usados para este propósito en muchos países incluyendo los Estados Unidos y Japón. Las secciones son unidas por pernos de alta resistencia, usando alma y ala con cubre junta (o platabanda). Los pernos se pueden instalar usando llaves calibradas, por el método de la tuerca cerrada (turn-of-nut), o por el uso de golillas indicadoras de tensión, dependiendo de lo que el diseñador permita y lo que el

constructor prefiera usar. En el método de apernado, es importante usar un procedimiento y secuencia de apernado que apretará la junta, e impedirá que un perno inicialmente bien apretado pierda tensión cuando los pernos subsecuentes de la conexión estén apretados.

La ventaja de la conexión por pernos sobre la soldadura es que es una confiable pero simple forma de conectar las vigas de acero. Confiable ya que como producto, el perno tiene un buen control de calidad y simple ya que si son apretados según un procedimiento correcto, no se requiere de una gran habilidad.

#### (5) Disposición de los Conectores de Corte

Los conectores de corte deben ser dispuestos en tal forma de que estos no interfieran con la placa de unión de un ala superior.

### 3.4 Diseño de Miembros Secundarios

Los miembros secundarios actúan como arriostramiento para el miembro principal. En general, los miembros secundarios no son elementos de apoyo, pero se diseñan para prevenir la deformación de la sección transversal del marco de la superestructura. Adicionalmente a esto, los miembros secundarios proporcionan una distribución de carga vertical entre vigas longitudinales, permitiendo la superestructura trabajar en conjunto como una unidad.

#### (1) Diafragmas

##### 1) Generalidades

Marcos Transversales trabajan como;

- espaciadores de las vigas principales que mantienen fija la distancia de las vigas principales,
- miembros resistentes contra las fuerzas laterales tal como el viento y las fuerzas sísmicas,
- distribuidores de carga vertical,
- y miembros de refuerzo de las vigas principales contra el pandeo.

##### 2) Estructura

Para estructuras de acero, compuestas de vigas laminadas o vigas armadas como miembros principales, se puede usar un diafragma de viga laminada. Esta viga laminada usualmente tiene una sección transversal del tipo canal o ala ancha. Para los miembros principales de viga laminada, el diafragma deberá ser menor que un tercio o un medio del espesor del miembro principal. Los diafragmas para vigas armadas deberán ser un medio o tres cuartos del espesor de la viga longitudinal.

Cuando la altura viga de acero es aproximadamente mayor a 1,2 metros, o cuando se usan vigas curvas, es deseable un estilo de diafragma de marco transversal. Los marcos transversales están típicamente compuestos de ángulos de acero en una configuración transversal (X) o (V).

Los diafragmas están frecuentemente conectados a vigas longitudinales con una placa de conexión. La placa de conexión es apernada o soldada a los miembros principales y al diafragma. Los diafragmas estarán ubicados en todos los tramos y espaciados en intervalos que no excederán los 7,5 metros de acuerdo con la AASHTO.

El diafragma final será proporcionado para la transmisión adecuada de las fuerzas laterales a los apoyos.

## (2) Arriostramiento Lateral

### 1) Generalidades

El arriostramiento ubicado en cada ala superior o inferior de una viga longitudinal para evitar la deformación lateral, es llamado arriostramiento lateral.

La necesidad de un arriostramiento lateral debería ser investigada, pero si la investigación se omite, entonces se recomienda que el arriostramiento lateral esté ubicado en los tramos exteriores entre los diafragmas para una longitud de luz de 25 metros o superior.

El arriostramiento lateral, sin embargo, puede también añadir estabilidad a la superestructura durante la construcción y, para grandes luces, puede deseable desde este punto de vista.

### 2) Estructura

El arriostramiento es similar en forma al marco transversal (es decir, dispuesto en una configuración tipo X o tipo V) de ángulos, otras formas o secciones soldadas pero es dispuesto a lo largo de la longitud de la viga longitudinal (en el plano horizontal).

Habrán no menos que 2 sujetadores en ambos extremos de los miembros del arriostramiento.

## 3.5 Protección de las Superestructuras de Acero

Hasta ahora hemos discutido el diseño de puentes carreteros de acero enfocados en los aspectos estructurales del diseño de detalles. De igual importancia, sin embargo, es la especificación de sistemas diseñados a proteger la superestructura de acero después de su construcción. Ya sea el uso de sistemas de pintura o el uso de acero resistente a la intemperie, en los diseños actuales en los que se considera el medio ambiente, los ingenieros se están preocupando en mayor medida de asegurar la vida útil de la estructura diseñada.

Para muchos diseñadores, la aplicación de una cubierta protectora a la superestructura de acero puede al menos ser una ocurrencia. Hay una necesidad obvia para proteger una superestructura de acero expuesta contra los efectos corrosivos de los elementos naturales y los hechos por el hombre.

## **CAPÍTULO 4      INFRAESTRUCTURA**

### **4.1 Generalidades**

#### **(1) Principios Básicos**

La infraestructura será diseñada de tal manera que la carga de la superestructura y las cargas aplicadas directamente a la infraestructura son segura y económicamente transmitidas a la fundación, y que los requerimientos de las condiciones de soporte para la superestructura también sean satisfechos.

#### **(2) Selección del estrato de apoyo**

El estrato de apoyo de la infraestructura tendrá suficiente capacidad de apoyo; estable e inalterado por las inclemencias del tiempo y por la socavación.

#### **(3) Selección del tipo de estructura y materiales**

El tipo de estructura y materiales serán seleccionados considerando el tipo y carga de la superestructura, el máximo desplazamiento admisible del apoyo de la superestructura, la influencia del flujo del río, las condiciones del terreno de fundación y el trabajo de construcción.

(4) En general, dos o más tipos diferente de estructura no serán usadas en la construcción de una fundación. Sin embargo, la decisión final será hecha después de un estudio acabado, que es hecho resguardando los factores de seguridad.

#### **(5) Planos de diseño**

Las condiciones de diseño serán claramente indicadas en los planos de diseño. En casos donde es necesario alterar las condiciones de diseño en el momento de la construcción, debe ser obtenida la aprobación del ingeniero.

### **4.2 Infraestructura**

#### **4.2.1 Determinación de las condiciones de apoyo y ubicación**

##### **(1) Condiciones de apoyo**

El movimiento adaptado mediante apoyos fijos y móviles puede ser clasificado en:

- Apoyos fijos que permiten sólo la rotación
- Apoyos móviles que permiten la rotación y la traslación

Un apoyo fijo permitirá la rotación resultante de la deflexión de la superestructura, ofreciendo resistencia en contra del desplazamiento. Un apoyo móvil, sin embargo, permite tanto la rotación como la traslación. Cualquiera de las condiciones de carga de deformación puede iniciar el movimiento en los apoyos. Estas condiciones de cargas incluyen movimientos resultantes de un escurrimiento plástico, contracción, asentamiento, levantamientos, y fuerzas térmicas. En adición al movimiento debido a las cargas de deformación, algunas condiciones de carga temporal pueden también iniciar movimientos en los apoyos. Un ejemplo de esto podría ser el movimiento resultante de las fuerzas sísmicas.

##### **(2) Ubicación de los apoyos fijos y móviles en caso de tramos simples.**

La fuerza de inercia de la superestructura, resultante del movimiento sísmico en la dirección longitudinal del puente, trabajará casi siempre en el lado de los apoyos fijos. Consecuentemente, los

apoyos fijos deberían estar en el estrado y cepas que estén ubicadas en el estrato de apoyo menos profundo, por consideraciones económicas (Figura 4.4). De la misma manera, los apoyos fijos deberían ser ubicados en la parte menos alta de la infraestructura.

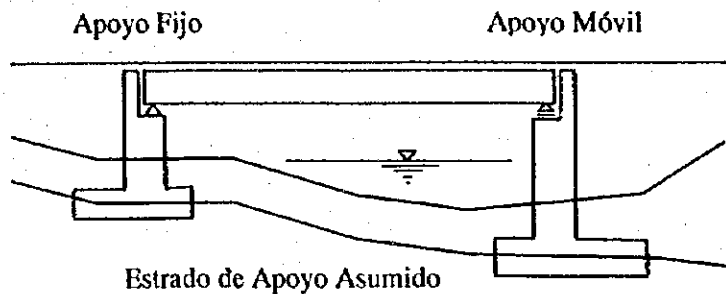


Figura 4.4 Ubicación de los Apoyos

### (3) Ubicación de los apoyos fijos y móviles en el caso de tramos continuos

En caso de tramos continuos de vigas largas, los apoyos fijos deberían ser ubicados en las cepas intermedias. De lo contrario, en el extremo de la viga continua, la distancia entre el parapeto y el final del puente debe ser lo suficientemente larga para resistir el movimiento causado por las fuerzas térmicas y de retracción. Puede ser una desventaja en términos de la economía y del mantenimiento que la cantonera a seleccionar deba ser grande de manera que el apoyo móvil debería permitir un movimiento amplio.

#### 4.2.2 Determinación del Espacio para el Asiento

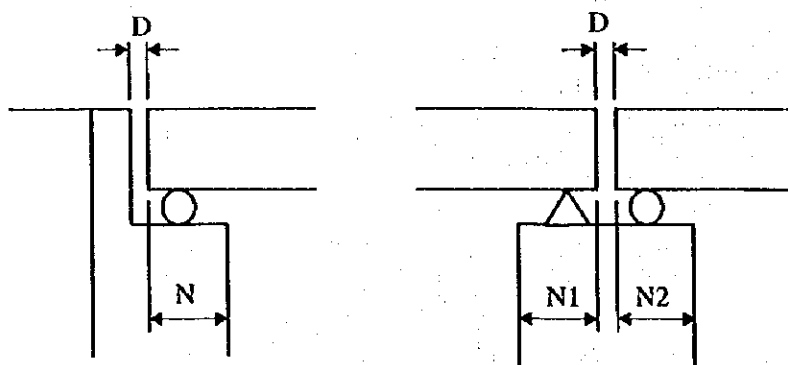


Figura 4.5 Longitud de los Apoyos



- 1) Las longitudes mínimas para la colocación de los apoyos serán dadas por los extremos de todas las vigas. La distancia  $N$  está especificada en la AASHTO (Artículo 4.9.1—División I-A), y clasificada para cada categoría de acción sísmica.

En el caso de SPC-A,B

$$N=203 + 1,67L + 6,66H \text{ (mm)}$$

Donde

$L$  = longitud, en milímetros, entre los extremos de la losa del puente. Para articulaciones dentro del tramo,  $L$  será la suma de  $L_1$  y  $L_2$ , las distancias entre cada articulación. Para puentes de un sólo tramo,  $L$  equivale a la longitud de la losa.

En el caso de SPC-C,D

$$N=305 + 2.5L + 10H \text{ (mm)}$$

Para determinar el tamaño de la zapata de apoyo debe también ser considerado la tensión de corte en la esquina.

- 2) Las separaciones entre el extremo de una viga con el lado de la junta de expansión y otro lado se muestran en la Figura 4.5, la distancia  $D$  se calcula considerando las expansiones térmicas, retracciones, fluencia, y deformación de la viga debido a las cargas vivas y pre-compresiones.

#### 4.2.3 Determinación del Ancho del Muro Frontal

- 1) En general, el ancho de los muros frontales de la infraestructura puede ser determinado de la misma manera que se determina el ancho de un camino.
- 2) De acuerdo a la Figura 4.6 se debe mantener una distancia "S" considerando la seguridad por la tensión de corte.
- 3) En el caso de tener un muro estructural existente al lado, tal como se muestra en la Figura 4.6, el espacio debería ser de más de 50cm para permitir el trabajo de mantenimiento.

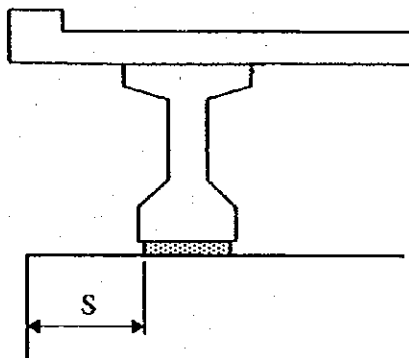

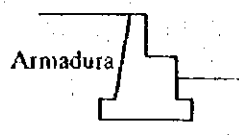
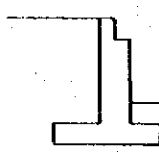
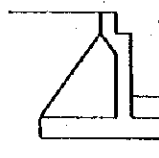
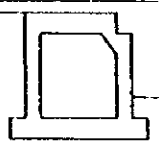


Figura 4.6 Distancia al Borde

#### 4.2.4 Determinación del tipo de infraestructura

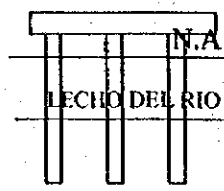
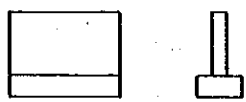
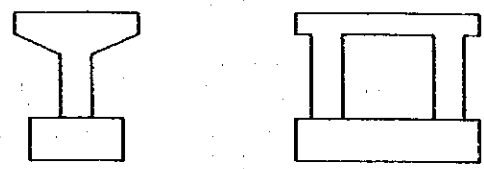
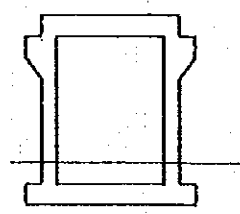
1) En general, los tipos de estribos están clasificados tal como se muestra en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3

	Tipo	Altura	Característica
GRAVITATORIO		$H \leq 4-5m$	<ul style="list-style-type: none"> <li>Haciendo un estribo masivo, sólo trabaja la tensión de compresión.</li> <li>Estructura simple, de fácil construcción.</li> </ul>
SEMI GRAVITATORIO		$4 \leq H \leq 6m$	<ul style="list-style-type: none"> <li>Diseñada para ser más liviana, distribuyendo la armadura en el lado bajo la tensión de tracción.</li> </ul>
TIPO T		$5 \leq H \leq 11m$	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mayor en altura que el tipo Gravitatorio, el tipo de estribo con hormigón armado puede ser más económico.</li> <li>El peso del terreno por detrás del muro estabiliza la estructura.</li> <li>Intercambiable con el tipo "L" dependiendo de las condiciones del emplazamiento.</li> </ul>
NERVADO		$H \geq 10m$	<ul style="list-style-type: none"> <li>Además de ser aplicables para situaciones de más altura, en general este tipo es más económico.</li> <li>Se deben tener cuidado durante la construcción de los espesores de las secciones que en la mayor parte son pequeñas dimensiones.</li> </ul>
MARCO RIGIDO			En general, este tipo es usado en situaciones de mayor altura y requiere de una mayor fuerza horizontal. También es útil para separar a los peatones del tránsito del camino.

2) En general, los tipos de cepas están clasificados tal como se muestran en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4

	TIPO	CONDICION APLICABLE	CARACTERISTICAS
PILA DE PILOTES		<ul style="list-style-type: none"> <li>Sitios en donde la construcción de un tranque provisional es difícil.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El costo de construcción es generalmente bajo.</li> <li>Pequeña resistencia horizontal en la dirección longitudinal.</li> </ul>
TIPO T INVERTIDA	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tipo Muro:            </li> <li>Tipo Voladizo            </li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Ampliamente utilizado.</li> <li>En caso de puentes esviados, una única columna es más eficiente considerando el flujo del río. Las vigas en voladizo en su mayoría son diseñadas para estar casi por encima del nivel de aguas máximas.</li> </ul>
TIPO MARCO RIGIDO			<ul style="list-style-type: none"> <li>Generalmente usados en ciudades como viaductos.</li> <li>El espacio en el interior del cajón puede ser usado como un pasillo para peatones.</li> </ul>

### 4.3 Fundación

#### (1) Selección del tipo de fundación

El tipo de fundación será seleccionado tomando en consideración los siguientes factores;

- (a) Características geográficas y geológicas
- (b) Características de la estructura
- (c) Condiciones de trabajo
- (d) Otros

(2) Clasificación del tipo de fundación en el diseño

Los tipos de diseños de fundación están generalmente clasificados como sigue.

- (a) La fundación de amarre (dado) y el tipo cajón (caisson) están clasificadas de acuerdo con la Tabla 4.5.

Tabla 4.5 Clasificación de las fundaciones de amarre y del tipo cajón

Tipo de fundación	Df / B		
	0	1/2	1
Fundación de amarre		←	
Fundación tipo cajón (caisson)			→

donde Df : profundidad efectiva de empotramiento  
 B : ancho menor de la fundación

- (b) La fundación tipo cajón y los pilotes están clasificados en la Tabla 4.6.

Tabla 4.6

Tipo de fundación		$\beta l$				
		0	1	2	3	4
Fundación tipo cajón		←				
Fundación con pilotes	Pilote corto (pilote con longitud finita)		←			
	Pilote largo (pilote con longitud semi-infinita)				→	

donde l: longitud efectiva de empotramiento del cajón o pilote  
 $\beta$ : valor característico del cajón o pilote ( $\text{cm}^{-1}$ )  
 $\beta = (kD/4EI)^{1/4}$   
 EI: rigidez a la flexión del cajón o pilote ( $\text{kg-cm}^2$ )  
 D: ancho o diámetro del cajón o pilote (cm)  
 k: coeficiente de la reacción horizontal subrasante del cajón o pilote ( $\text{kg/cm}^3$ )

(3) Principios básicos del diseño

- (a) La fundación debe ser estable para evitar u oponerse al movimiento de los apoyos, el volcamiento y movimientos horizontales.  
 (b) El desplazamiento de la fundación no debe exceder al valor admisible.

#### (4) Profundidad de empotramiento

##### 1) Selección del estrato de apoyo y diseño de la profundidad de empotramiento

- (a) La profundidad de empotramiento para una fundación de amarre y del tipo cajón debe ser diseñada de manera que estas estén apoyadas en el estrato de sustentación duro.
- (b) La longitud de empotramiento de una fundación con pilotes debe ser diseñada tomando en cuenta factores tales como el tipo y función de la superestructura, mecanismo de apoyo de las cargas y trabajabilidad de los pilotes.

##### 2) Diseño de la superficie del terreno

El diseño de la superficie del terreno en situaciones normales será determinado tomando en cuenta los siguientes factores;

- (a) Socavación y asentamiento de la superficie del terreno.
- (b) Consolidación del asentamiento.
- (c) Congelamiento y derretimiento.
- (d) Perturbación del suelo debido a los trabajos de construcción.

##### (5) Constantes del suelo requeridas en el diseño

Las constantes del suelo para el diseño de las fundaciones serán determinadas después de realizar suficientes análisis de los resultados de los estudios y pruebas de los suelos.

##### (6) Reacción del terreno y desplazamientos

Las reacciones del terreno y los desplazamientos serán calculados después de realizar suficientes análisis de los resultados de los varios tipos de estudios y pruebas de los suelos. En este caso, es necesario calcular el valor del asentamiento elástico para el suelo arenoso, así como el asentamiento elástico y la consolidación del suelo cohesivo.

##### 1) El coeficiente de reacción subrasante

El coeficiente de reacción subrasante será determinado de acuerdo con la siguiente fórmula;

$$K = \frac{P}{\delta}$$

donde  $k$  : coeficiente de reacción subrasante ( $\text{kg}/\text{cm}^3$ )  
 $p$  : intensidad de la carga ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )  
 $\delta$  : valor del desplazamiento (cm)

##### 2) Reacción del terreno y desplazamiento elástico

La reacción del terreno y el desplazamiento elástico serán calculados utilizando el coeficiente de reacción subrasante.

##### 3) Consolidación del asentamiento

- (a) La consolidación del asentamiento será calculada cuando las capas de suelo cohesivo a consolidar existan dentro de una profundidad de tres veces el ancho mínimo de la fundación medida desde el fondo de esta.

(b) La consolidación del asentamiento de las capas del suelo cohesivo será calculada tomando en cuenta el aumento de las tensiones verticales en el suelo debido a la carga actuante en la fundación y las tensiones de pre-consolidación.

(7) Fundaciones profundamente empotradas en el suelo que se asienta debido a la consolidación

Cuando las fundaciones están profundamente empotradas en donde la consolidación de asentamientos suele ocurrir, deben ser examinados los efectos sobre las fundaciones los asentamientos del suelo causados por la fricción negativa u otros fenómenos.

(8) Fundación constantemente sujeta a cargas desiguales o no uniformes

Es necesario realizar un cuidadoso estudio concerniente a las fundaciones, en la que actúan cargas no uniformes y donde se anticipa el movimiento lateral.

## CAPÍTULO 5 ACCESORIOS DEL PUENTE

### 5.1 Junta de Expansión

Las Juntas de expansión de los puentes camineros, cumplen la función de acomodar los cambios térmicos en la superestructura, y en el caso de los puentes de hormigón pre-comprimido, para acomodar de mejor forma la disminución de fluencia en la estructura. Estas son necesarias en los estribos que restringen el movimiento longitudinal y en el extremo de las estructuras apoyadas, libre para trasladarse debido a la disposición de apoyos móviles.

En algunos puentes de acero de gran luz, las juntas de expansión y los apoyos móviles deben también acomodarse a los cambios en la longitud de la luz debido a los esfuerzos provocados por las cargas de servicio. Las juntas de expansión no son requeridas en puentes pequeños donde el movimiento es pequeño, como por ejemplo en aquellos puentes de acero con una luz menor que 15 metros. Para aquellos puentes más grandes, son preferibles los diseños de puentes que eliminan o minimizan las juntas de expansión, sin producir problemas en las losas o caminos de aproximación, ni que causen algún peligro en la superestructura o infraestructura.

Las juntas de las losas caen dentro de dos clases: abierta y cerrada. Una junta abierta es nada más que una abertura entre la losa de hormigón y un elemento adyacente de la estructura (ejemplo, losa/losa, losa/estribo, losa/losa de aproximación). A veces las juntas abiertas son equipadas con ángulos de acero en la abertura para generar una junta abierta blindada (cantoneiras). Un blindado previene desgaste en la junta y ofrecerá una gran protección a los cantos de los elementos de hormigón.

Varios tipos de juntas de expansión con dispositivos de sellado están disponibles. Adecuadamente dimensionadas e instaladas, las juntas pueden reducir en gran medida, si no eliminan, el drenaje a través de la junta.

#### (1) Juntas Abiertas

La deficiencia obvia de cualquier junta abierta, es su inestabilidad en relación a prevenir filtraciones y su susceptibilidad al deterioro. En adición a esto, una junta abierta puede solamente manejar pequeños movimientos longitudinales. A causa de esas deficiencias, las juntas abiertas son escasamente usadas en las estructuras nuevas y son frecuentemente encontradas en las estructuras más viejas, en puentes de pequeñas luces.

#### (2) Juntas Rellenas

Para puentes de pequeñas luces que requieren de una junta para movimientos pequeños, la junta rellena puede ser usada como una alternativa a la junta abierta discutida en el párrafo anterior. Las juntas rellenas se pueden realizar o formar en sitio, compuesta por un sellador que es insertado o vertido en caliente dentro de la junta.

#### (3) Juntas con Sello de Compresión

Un sello de compresión consta de un material elástico el cual es estrechado dentro de la junta abierta, cubierta con un adhesivo lubricante. El material más popular para sellos de compresión es el neopreno exprimido (polycloropreno) con una sección transversal de celda abierta.

#### (4) Junta con Sello de Cinta

El sello de cinta, está hecha de un material elastomérico, el cual es ubicado entre el doble riel de acero que está anclado a la cara de la abertura de la junta. Muchas juntas de este tipo utilizan un casquillo de neopreno como sellante. Distinto de un sello de compresión, el cual es estrechado dentro de su ubicación, el sello con cinta es mecánicamente ajustado a su riel de acero de ensambles.

## (5) Juntas (cantoneras) Dentadas

Las cantoneras dentadas están compuestas de placas de acero las cuales están entrelazadas a través de dientes que calzan entre sí, que permiten amplios movimientos. Una junta dentada puede ser considerada una junta abierta. Por lo tanto, es necesario proteger los elementos de la infraestructura de las filtraciones. Esto es logrado a través del uso de un canal de drenaje, hecho de un material elastomérico, el cual es instalado debajo de la junta dentada y en la línea central de la junta.

## 5.2 Apoyos

La norma AASHTO requiere que los puentes de acero con luces de 35 metros o más grandes tengan un tipo de apoyo empleando una articulación, placas de apoyo curvas, plataformas elastoméricas, o arreglos de pernos para propósitos de deflexión (rotación).

Los apoyos consisten en algunos o en la totalidad de los siguientes componentes:

- Placas de descanso en el asiento de la infraestructura del puente
- Mecanismo de rotación
- Mecanismo deslizante
- Mecanismo de restricción de movimiento, o "fijadores"
- Placa única pegada a la superestructura

Los apoyos pueden ser apoyos fijos, proporcionando solamente rotación y previniendo el movimiento diferencial entre la superestructura y la infraestructura, o apoyos de expansión. Los apoyos de expansión deslizantes, tienen una capacidad finita dependiendo en la longitud de la superficie de contacto, o pueden emplear fijadores para limitar el movimiento. El rango de movimiento acomodado por el apoyo, será más grande que el movimiento calculado.

El apoyo elastomérico, en el cual la translación de la superestructura puede estar acomodada por corte, es a menudo el tipo más económico para puentes de acero y hormigón. Estos apoyos consisten de un elastómero tal como una goma natural o sintética (polycloropreno, o neopreno), con o sin armadura interna.

En adición a la acomodación del movimiento horizontal por la deformación en corte, los apoyos elastoméricos pueden acomodar la rotación de la superestructura. Otro atributo deseable de los apoyos elastoméricos es que estos pueden tolerar movimientos o rotaciones en direcciones distintas a la longitudinal. Para estructuras con gran esviaje o curvatura, donde es conocida cualquiera de las dos condiciones cualitativamente o cuantitativamente, que tales rotaciones fuera del plano existan, esta es una calidad deseada.

## 5.3 Drenaje del Tablero

El drenaje adecuado de la losa es importante para asegurar un funcionamiento del puente durante lluvias o grandes temporales, para prevenir la acumulación de aguas lluvias o nieve derretida que se puede congelar y causar que los vehículos patinen, y prolongar aún más la vida de la losa removiendo el agua estancada, la cual podría por otro lado contribuir a que el agua provoque corrosión. Los orificios de drenaje de tamaño y espaciado adecuado deben ser cuidadosamente determinados.

## 5.4 Barandas

Aunque el propósito principal de la baranda de tráfico es para contener el vehículo promedio usando la estructura, se debería considerar también: (a) protección de los ocupantes del vehículo en un choque



contra la baranda, (b) protección de otros vehículos cercanos a la colisión, y (c) apariencia y libertad de visión del paso de vehículos.

Las barandas estarán provistas a lo largo de los bordes de las estructuras para la protección del tránsito y los peatones.

Las barandas deberán proporcionar una suave, y continua cara (del perfil Z) hacia el lado del tránsito con un conjunto de puntales traseros desde la cara de la baranda.

Así como para las barandas peatonales, los componentes de las barandas serán proporcionadas en proporción al tipo y volumen del tránsito peatonal esperado.

Los materiales para las barandas de tránsito serán de hormigón, metal, o una combinación de estos.

#### (1) Baranda de Acero

Los materiales y fabricación de las barandas de acero conformaran los requerimientos aplicables de las "Estructuras de Acero".

La totalidad de las soldaduras expuestas serán terminadas por esmerilaje o limadura para proporcionar una superficie suave.

Las barandas de acero serán cuidadosamente ajustadas, para fijarlas en el lugar de modo de asegurar el calce perfecto con las juntas de los estribos, un alineamiento correcto, y la comba a lo largo de su longitud.

A menos que de otra manera este especificado, los pernos de anclaje, tuercas y la totalidad de las partes de acero de las barandas serán galvanizadas.

Cuando la pintura este especificada, el tipo y recubrimiento estará de acuerdo a los requerimientos.

#### (2) Barandas de Hormigón

Las barandas de Hormigón, dependerán del diseño, pueden ser construidas mediante el hormigonado in-situ, prefabricadas o, cuando esté aprobado, por el método de molde deslizante.

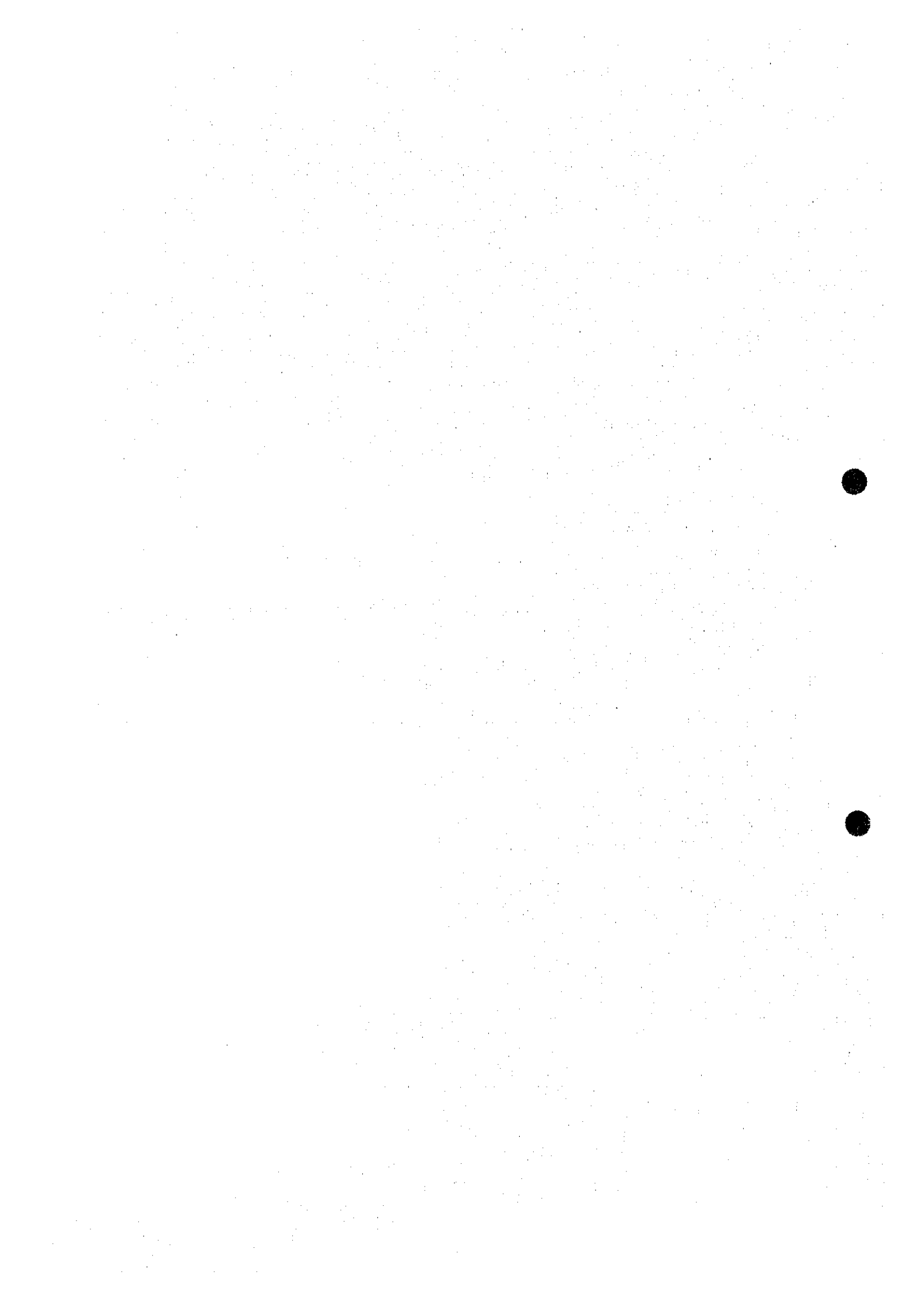
Para las formas del hormigonado in-situ, los elementos para hormigonar las barandas no serán removidas hasta tomar las medidas adecuadas para proteger y curar el hormigón, y que además el hormigón tenga la suficiente resistencia para prevenir el daño superficial u otro tipo de daño causado por la forma de remover estos elementos.

**DIVISIÓN V PLANIFICACIÓN DE LA  
CONSTRUCCIÓN DE PUENTES**

## DIVISIÓN V PLANIFICACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN DE PUENTES

### ÍNDICE

	Página
<b>CAPÍTULO 1 GENERALIDADES</b>	
1.1 Introducción.....	V-1
1.2 Objetivo de la Planificación de la Construcción.....	V-1
1.3 Procedimiento de la Planificación de la Construcción.....	V-2
1.3.1 Investigación Preliminar.....	V-2
1.3.2 Ítems de la Planificación de la Construcción.....	V-3
1.4 Las Partes Involucradas en la Construcción y sus Funciones.....	V-4
<b>CAPÍTULO 2 PUNTOS GENERALES DE LA PLANIFICACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN</b>	
2.1 Programa de Construcción.....	V-6
2.2 Control de Calidad.....	V-7
2.3 Relaciones Públicas.....	V-11
2.4 Control Medio Ambiental.....	V-11
<b>CAPÍTULO 3 REQUERIMIENTO DE CONSTRUCCIÓN DE LAS PRINCIPALES OBRAS</b>	
3.1 Obras de Pre-compresión .....	V-13
3.1.1 Lugar para las Operaciones de Tensado.....	V-13
3.1.2 Control de las Operaciones de Tensado.....	V-14
3.2 Montaje de Vigas Pre-vaciadas de Hormigón Pre-comprimido .....	V-15
3.2.1 Generalidades .....	V-15
3.2.2 Método de Montaje.....	V-15
3.2.3 Selección del Método de Montaje.....	V-17
3.2.4 Medidas de Seguridad.....	V-17
3.3 Montaje de Vigas Armadas de Acero.....	V-23
3.3.1 Generalidades.....	V-23
3.3.2 Investigación Preliminar.....	V-23
3.3.3 Plan de Implementación.....	V-24
3.3.4 Procedimiento de Montaje.....	V-25
3.3.5 Detalle de la Obra de Montaje.....	V-25
3.4 Estructura de Excavación y Obras Temporales.....	V-32
3.4.1 Generalidades.....	V-32
3.4.2 Excavación Abierta.....	V-32
3.4.3 Métodos de Muros de Contención (Entibaciones).....	V-33
3.4.4 Método de la Atagüa.....	V-35
3.4.5 Puentes Provisorios.....	V-36



## **DIVISIÓN V PLANIFICACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN DE PUENTES**

### **CAPÍTULO 1 GENERALIDADES**

#### **1.1 Introducción**

El manejo de la construcción puede involucrar la planificación y control de las operaciones de construcción para cualquier tipo de construcción. La planificación de la construcción requiere generalmente de la determinación de la programación del trabajo, la selección de los métodos de construcción y equipamiento a ser usado, costos estimados de construcción y los métodos de financiación.

La planificación de la construcción presenta una aproximación general del trabajo de construcción. Los materiales y la mano de obra estipulada en las especificaciones, el financiamiento y la estimación de los costos de construcción no son descritos en esta división. La siguiente especificación, el manual y la guía estarán referida a los materiales, requerimientos de construcción y mano de obra.

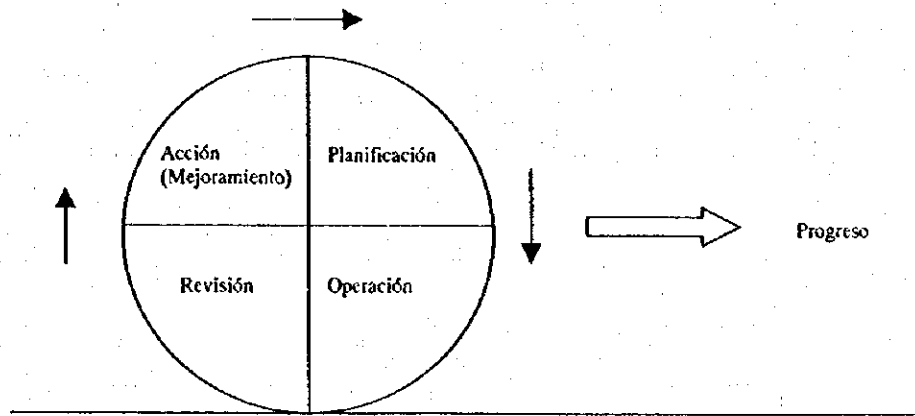
- "Standard Specifications for Highway Bridges División II Construcction" AASHTO
- "Concrete Manual" U.S. Bureau of Reclamation, Government Printing Office, Washington
- "ACI Manual of Concrete " American Concrete Institute (ACI)
- "Manual of Steel Construction" American Institute of Steel Construction (AISC)
- "Detailing for Steel Construction" AISC

#### **1.2 Objetivo de la Planificación de la Construcción**

La planificación de la construcción es importante y vital para la implementación exitosa de las obras, y el plan de construcción conveniente facilitará la construcción.

Previo al comienzo de la actual construcción, el cliente o los ingenieros consultores prepararán la planificación de la construcción, principalmente el programa de trabajo, los costos estimados y los posibles problemas en orden a completar el proyecto de acuerdo con los planos y especificaciones dentro del periodo de contrato y el presupuesto del gobierno. El contratista es generalmente solicitado por el cliente, para preparar la planificación de la construcción a aprobar.

La planificación de la construcción debería ser revisada a cada momento durante la construcción, de acuerdo con las circunstancias que prevalezcan en terreno, también si se produce algún cambio en el contrato o diseño que sea requerido durante la construcción, la planificación de la construcción debería ser modificada o corregida para alcanzar los requerimientos que se exigen. El ciclo de la planificación de la construcción se ilustra en el siguiente diagrama.



### 1.3 Procedimiento de la Planificación de la Construcción

#### 1.3.1 Investigación Preliminar

La investigación preliminar para la planificación de la construcción será proporcionada tomando en cuenta el alcance y cantidad de las obras y la condición del terreno incluyendo el medio ambiente.

##### (1) Alcance y Cantidad de las Obras

- Alcance de las obras
- Planos generales
- Principales cantidades

##### (2) Condición del Sitio y el Medio Ambiente

- Topografía	Condición topográfica Condición de drenaje
- Geología	Condición Geográfica Condición y perfil del suelo Profundidad asumida de fundación
- Clima	Densidad y lluvia anual Período seco y húmedo
- Río	Niveles de aguas mínimas y máximas Velocidad de las aguas
- Medio Ambiente	Poblaciones, hospitales y escuelas alrededor del lugar Tránsito de las calles y ferrocarriles
- Servicios Públicos	Agua, electricidad, teléfonos, alcantarillados, petróleo y gas

### 1.3.2 Items de la Planificación de la Construcción

Los siguientes ítems de la planificación de la construcción serán considerados.

#### (1) Materiales y Productos

- Recursos y disponibilidad
- Ruta de entrega

#### (2) Obras Preliminares (Obras Preparatorias)

- Lugar para las oficinas, Bodega y laboratorio ----- ubicación y tamaño
- Suministro de Electricidad y agua
- Equipos de inspección y reconocimiento

#### (3) Métodos de Construcción y Trabajos de Aproximación

- Obras temporales ----- Moldajes y apuntalamiento  
Tranque provisional  
Control del agua temporal  
Camino y puente provisorio
- Estructura de excavación y relleno
- Remoción de la estructura existente
- Hincamiento de los pilotes de fundación ----- Ensayo de pilote prueba de carga  
Equipo de hincamiento
- Hormigón ----- Hormigón pre-mezclado o  
mezclado in-situ  
Transporte y colocación
- Pretensado ----- Fuerza y elongación de los  
tendones
- Estructuras de acero ----- Fabricación, Ensamble
- Manejo y montaje de las vigas ----- Método de montaje
- Obras misceláneas ----- Apoyos  
Barandas  
Junta de expansión  
Conductos de drenaje

#### (4) Planta de Construcción y Equipamiento

- Selección y entrega a terreno
- Clasificación, números, periodo de uso del equipamiento requerido
- Distribución del terreno
- Talleres

#### (5) Organización del terreno o emplazamiento

- Organización del trabajo y sus deberes
- Suministradores nominados o especialistas
- Subcontratistas nominados o especialistas
- Comité y comunicación
- Programación de los requerimientos de la mano de obra

**(6) Programa de Trabajo**

- Secuencia de obras
- Razón de producción
- Efecto de los principales días feriados y las restricciones del clima
- Tránsito del sitio y tránsito patrón

**(7) Control de Calidad**

- Inspección técnica
- Prueba de control de calidad

**(8) Seguridad en la Construcción**

- Tranque provisorio
- Manejo y montaje de las vigas
- Apuntalamiento

**(9) Relaciones Públicas**

- Servicios ----- D esviación o Protección
- Manejo del tránsito
- Vías férreas/Carreteras ----- P uente de paso superior

**(10) Control de costos**

- Costo de estimación
- Presupuesto

**(11) Control del medio ambiente durante la construcción**

- Ruido y Vibración
- Polución del aire
- Transporte y manejo de materiales peligrosos
- Calidad y polución del agua

**1.4 Las Partes Involucradas en la Construcción y sus Funciones**

Las principales partes involucradas en proyectos de construcción están resumidos en los siguientes puntos.

**(1) Clientes**

El cliente está en su propio derecho de poder encargar el trabajo y, como financista del proyecto de construcción, posee un papel determinante a jugar en el establecimiento de las condiciones adecuadas para el manejo del lugar de trabajo. Los clientes se encuentran en condiciones de ejercer un control considerable sobre su conducción, aunque esto puede variar considerablemente desde uno del control total a uno donde el cliente depende completamente de sus asesores profesionales.

**(2) Asesores Profesionales**

Esto puede incluir ingenieros consultores, ingenieros evaluadores e inspectores. Una de sus principales tareas durante la construcción es asegurar que el proyecto sea terminado por el



contratista de acuerdo al plan en términos de costo, tiempo y calidad. El ingeniero evaluará el efecto económico en el costo de la construcción.

### (3) Contratista Principal

Un contratista principal puede trabajar con su propio personal, o tener un número de sub-contratistas trabajando para él, incluyendo aquellos nominados por el cliente. En algunas circunstancias, también puede trabajar en asociación con otros contratistas de igual nivel. El contratista principal debería examinar la información suministrada por los asesores profesionales del cliente y usando su experiencia y habilidad, idear un método de construcción económico.

### (4) Contratista Encargado del Diseño y la Construcción

Un contratista encargado del diseño y la construcción, estará sujeto en suma a sus responsabilidades para la construcción de las obras, tiene responsabilidades asociadas con el diseño del proyecto.

### (5) Sub-contratista

El sub-contratista puede ser nombrado directamente por el contratista principal y esta a menudo contratado para hacer la obra del momento debido a su habilidad específica. Los deberes y responsabilidades de tales sub-contratistas para con sus propios empleados y aquellos bajo su directo control, son las mismas que para los demás contratistas. En particular, ellos pueden cooperar no sólo con el contratista quien lo nominó sino que también con el contratista principal quien tiene el control total del lugar.



La curva del programa de control la cual es llamada curva-S o curva-Campana para la construcción de caminos, resultó del análisis estadístico en la División de Carreteras de California, EE.UU.(California Division of Highway, USA), que se muestra en la Fig. 5.2.

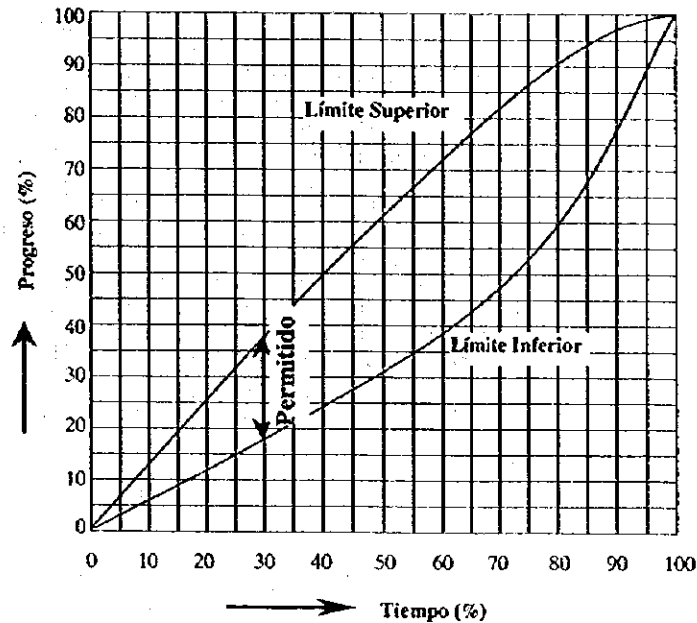


Fig. 5.2 Curva del Programa de Control (curva-S)

La línea más baja en esta figura da la razón de avance admisible, es decir en el 30% de tiempo transcurrido, una razón de avance admisible está en el rango de 18 - 37%. Si el avance de trabajo está bajo el 16%, es necesario tomar medidas para recuperarse de la condición crítica, y si el avance está sobre el 35%, presenta un programa de trabajo incorrecto que debe ser revisado.

## 2.2 Control de Calidad

El objetivo del control de calidad es el de asegurar y verificar la calidad de los materiales y que la ejecución de las obras estará de acuerdo con los documentos del contrato y conforme a un buen trabajo.

Dos funciones del control de calidad para materiales y trabajos se dan a continuación:

- Inspección técnica
- Pruebas del control de calidad

Los ensayos de Inspección técnica y control de calidad han de ser realizados apropiadamente por ingenieros experimentados, inspectores y técnicos, y minuciosamente familiarizados con los estándares relevantes y corregidos por procedimientos técnicos. El control de calidad de la construcción es un sistema que involucra la unión pero con esfuerzos independientes del Gobierno, el contratista y el fabricante para alcanzar el nivel de calidad de acuerdo con las especificaciones. Cuando la calidad de la estructura terminada no reúna la calidad requerida, la estructura será reemplazada y reconstruida. Esto es muy antieconómico y llevará a pérdidas, no sólo al contratista, sino que también al Gobierno.

En la mayoría de los casos, la calidad, costo y avance no están de acuerdo entre sí como lo muestra la Figura 5.3. Sin embargo, el control de calidad es la materia más importante entre las otras.

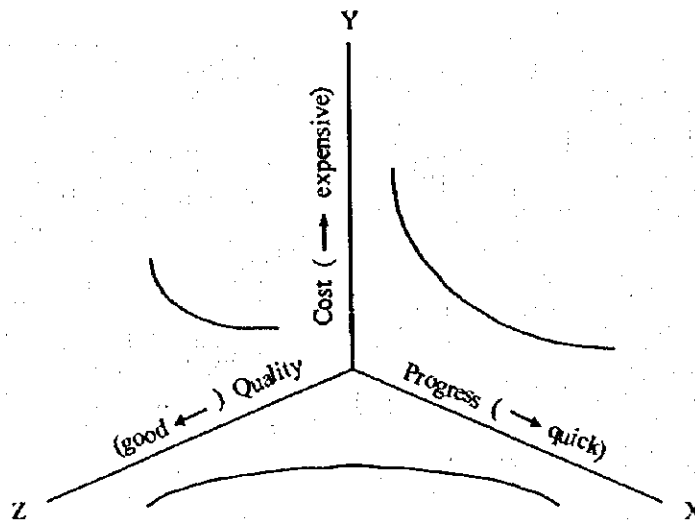


Figura 5.3 Relación entre Calidad, Costo y Avance

#### Comprobación del Control de Calidad

Un ejemplo de la comprobación del control de calidad para obras de tensado y obras de lechada para vigas post-tensadas son como las que siguen:

##### (1) Obras de Tensado

###### (a) Materiales

- Identificación del acero y comprobación, llenado de los documentos (informes de los ensayos, envío de notas) enviado por el suministrador
- Revisión de anclajes y accesorios  
Condición de los ductos  
Tolerancias geométricas de anclajes y accesorios.

###### (b) Etapa previa al tensado

- Colocación de los moldajes  
Revisión de la condición de los tendones después del almacenamiento y manipulación.  
Revisión para asegurar que las posiciones de tolerancia han sido cumplidas.  
Revisión del número y la rigidez de los fijadores.
- La disponibilidad de la totalidad de las instrucciones dadas por el diseñador  
La secuencia de tensado de los tendones.  
Procedimiento de tensado (desde un extremo o ambos extremos, incrementos en la fuerza de tensado a ser aplicada, máxima presión en el

gato, correspondiendo a la extensión teórica del tendón, tolerancias sobre tal extensión).

- Disponibilidad y condición propia del equipamiento necesario  
Calibración de los gatos.
- Calidad del hormigón (información de los resultados del ensayo de revisión) y otros materiales concernientes (ejemplo, materiales de adhesión).
- Grado de libertad  
Permitirle al miembro de hormigón pretensado deformarse, cuando el pretensado es aplicado. Permitirle a los cables movilidad en sus ductos.

**(c) Etapa de Tensado**

- Grado de libertad
- Mediciones para la determinación de los coeficientes de transmisión, si es necesario
- Registro de las fuerzas y extensión correspondiente a cada incremento de la fuerza de tensión (dibujado en un diagrama).
- Supervisión de cualquier operación de re-tensado y de la instalación de los anclajes y los accesorios.
- Mediciones del desplazamiento del cable con relación a los anclajes.

**(d) Después del Tensado**

- Inspección visual del hormigón de la estructura.

**(2) Obras de inyección de lechada de cemento.**

**(a) Etapa previa a la inyección de lechada de cemento.**

- Resultados de los ensayos preliminares apropiados.
- Continuidad de los ductos (que no tenga quiebres), impermeabilidad líquida de los acopladores o piezas especiales de unión, disponibilidad de elementos que no permitan la obstrucción de los orificios acodados (doblados) u orificios de drenaje.
- Confección de la lechada (proporción de mezclas y tolerancias en las proporciones, secuencia de adhesión de los constituyentes, tiempo de mezclado, velocidad del agitador, etc.).
- Inyección de la lechada de cemento (adaptada a las condiciones climáticas, impulsado con aire comprimido o lavando los ductos y tendones con agua, inyección de la lechada de cemento a presión, sellado de los orificios acodados).

(b) Etapa de la inyección de lechada de cemento.

- Observación de la presión y detección de cualquier filtración.
- Control de los volúmenes: cantidad de inyección de lechada de cemento y el tiempo que transcurre antes que emerjan desde los orificios acodados.
- Tomar muestras para la revisión del control de calidad.

(c) Etapa posterior a la inyección de la lechada de cemento.

- Revisar que todos los orificios acodados y otras aberturas hayan sido apropiadamente sellados y que los anclajes permanentes estén adecuadamente protegidos.

El control de calidad obtendrá el nivel de calidad deseado por las especificaciones. Un diagrama de flujo del control de calidad es mostrado en la Figura 5.4.

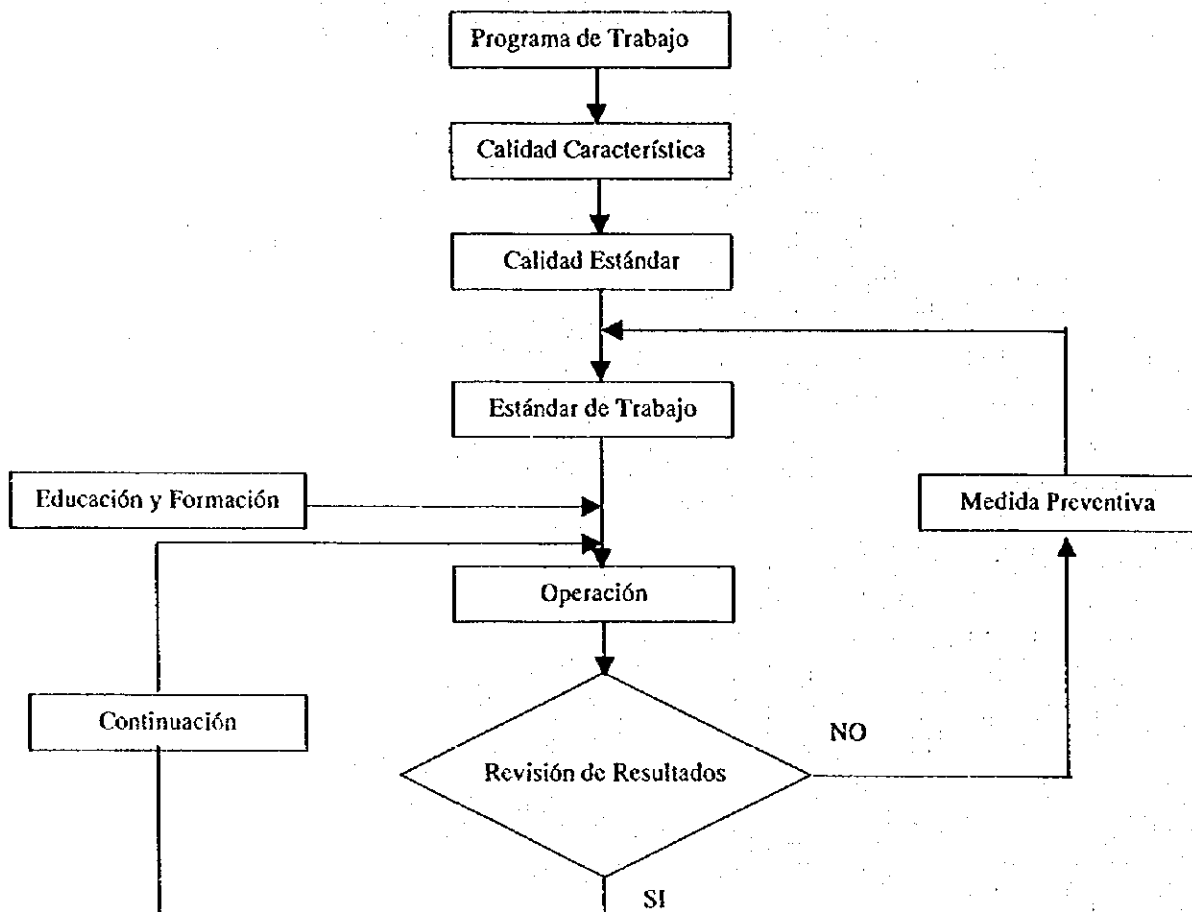


Figura 5.4 Diagrama de Flujo del Control de Calidad.

### **2.3 Relaciones Públicas.**

La cooperación debería obtenerse desde el gobierno correspondiente y de las agencias privadas cuyos servicios o facilidades afectan las obras, evitándose también las inconveniencias y peligros para el público.

#### **(1) Servicios.**

Los servicios involucrados son el agua, electricidad, teléfonos, alcantarillados y cañerías de petróleo/gas. Aquellos servicios son usualmente requeridos para su desviación o protección por parte del gobierno o las autoridades correspondientes, evitándose cualquier daño a los servicios.

#### **(2) Tránsito vehicular.**

Donde se requiera de desviaciones temporal del puente o de la construcción por mitad de la vía, se harán de una manera adecuada y segura, también para el manejo del tránsito, pues durante tal periodo es muy importante minimizar las molestias al público.

#### **(3) Vías férreas**

Especial cuidado se necesita tomar en las intersecciones con las vías férreas, o en cualquier lugar donde el trabajo ha de ser emprendido cerca de líneas férreas. Es esencial de una muy cercana cooperación con la autoridad de ferrocarriles y que sus regulaciones sean estrictamente tomadas y observadas. El método de operación en la construcción y la programación será cuidadosamente planeada, especialmente para las operaciones de levantamiento y montaje de las vigas de hormigón pretensado y las vigas armadas de acero.

### **2.4 Control Medio Ambiental.**

Las obras de construcción deberán ser llevadas a cabo de manera que aseguren niveles aceptables de ruido/vibración y que otras formas de polución ambiental no sean excedidas. El cliente se reserva el derecho de prohibir cualquier trabajo en el que tales estándares se excedan en áreas comerciales y residenciales, y cerca de zonas de crianza de animales (ganado). La polución ambiental se clasifica generalmente como sigue:

- Ruido y vibración
- Polución del aire
- Transporte/manejo de materiales peligrosos
- Calidad del agua y polución del agua
- Daño en las cercanías

Los niveles de ruido del equipamiento en la construcción se muestran en la Figura 5.5.

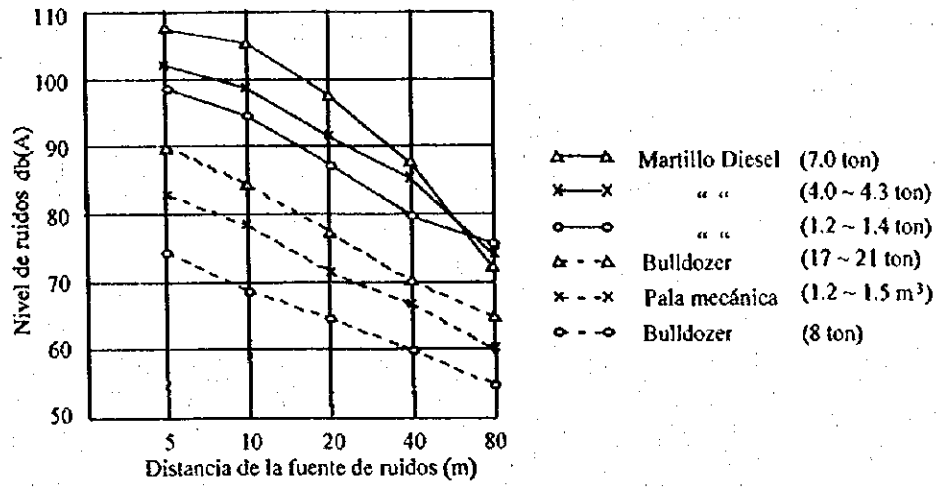


Figura 5.5 Niveles de Ruido de los Equipamientos Usados en la Construcción.



## **CAPÍTULO 3 REQUERIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN DE LAS PRINCIPALES OBRAS**

### **3.1 Obras de Pre-compresión**

#### **3.1.1 Lugar de las Operaciones de Tensado**

La operación de tensado será llevada a cabo adecuadamente por supervisores y operadores (subcontratistas especialistas).

Las instrucciones para controlar las operaciones de tensado están basadas en el diseño de los puentes y pueden ser modificadas por el ingeniero como un resultado de la información obtenida desde el lugar de registro del tensado.

Las instrucciones son las siguientes:

- Mínima resistencia del hormigón en el momento del tensado
- Si el tendón es tensado desde uno o ambos lados
- Secuencia de tensado
- Fuerzas de tensado y elongación

El tensado del tendón deberá ser realizado en secuencia para introducir una mínima fuerza excéntrica en la sección de la viga. En el cálculo anticipado de la elongación de cada tendón, fricción del cable, la fricción del gato y del anclaje, así como la deformación elástica de la viga de hormigón también se tomarán en cuenta.

Previo a la operación de tensado, un especialista asegurará los siguientes contenidos.

#### **(1) Entendimiento de los Cálculos de Diseño.**

La relación entre el diseño y la obra de construcción del hormigón pre-comprimido es mucho más cercana que otras obras comunes de hormigón armado. Y particularmente, con respecto a los requerimientos de diseño y los planos de trabajo para las vigas de hormigón pre-comprimido. Los contenidos básicos del diseño deben ser totalmente entendidos.

#### **(2) Equipamiento**

Para llevar a cabo la obra, el equipo de tensado será el apropiado, siendo operado de acuerdo con el sistema de instrucciones de la fábrica.

#### **(3) Medición de fuerzas**

Se requieren de los indicadores de presión de los gatos, calibrados mediante un dinamómetro, en orden a que la magnitud de las fuerzas de tensado se puedan controlar adecuadamente. Esta calibración debe ser hecha periódicamente ya que la tensión puede variar fácilmente.

#### **(4) Seguridad**

Las obras de tensado pueden ser peligrosas. Si un tendón se rompe o desliza, hay una repentina y gran liberación de energía, la cual causa que el tendón sea proyectado desde el ducto con una considerable fuerza. Deben ser tomadas las precauciones adecuadas para asegurar que el tensado se lleve a cabo en forma segura.

### 3.1.2 Control de las Operaciones de Tensado

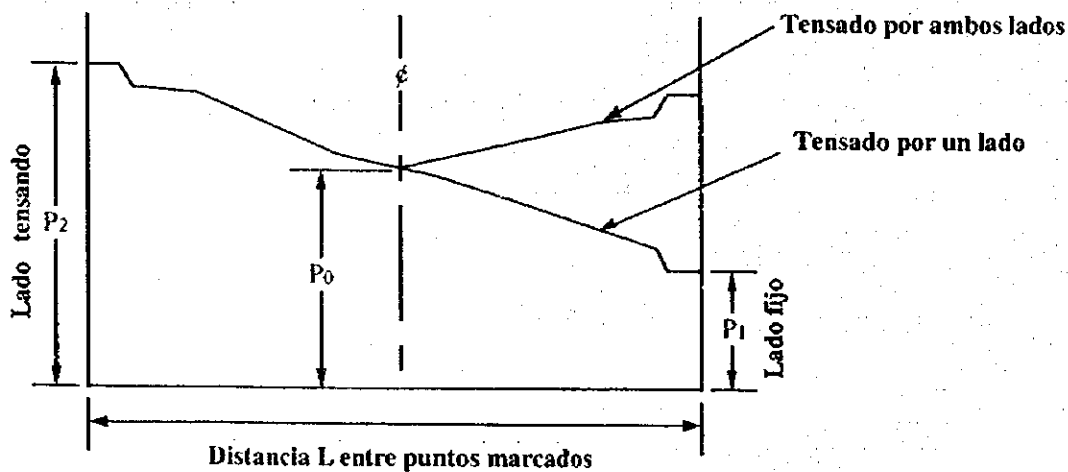
La fuerza y elongación registrada in-situ deberá ser comparada con el valor calculado. Si los valores medidos y calculados están cercanos a lo acordado, las pérdidas por fricción asumidas en el diseño son confirmadas. Donde la tolerancia no ha sido especificada, un valor realista es normalmente de  $\pm 6\%$ .

La valoración de las fuerzas y elongación pueden aparecer de:

- La variación en la fricción interna del gato
- Error en la medición de la elongación
- Variación en el área de la sección transversal en el módulo de elasticidad del tendón
- Diferencia entre el diseño y los actuales coeficientes de fricción
- Variación en la fricción en el anclaje

#### Ensayos de Fricción.

Son usados dos gatos para medir la fricción actual, la fuerza es aplicada en un extremo y en el otro, se registra la fuerza pasiva del otro lado del tendón. La distribución de tensión a lo largo del ducto durante el pretensado y la relación entre las fuerzas en el lado tensado y el lado fijo, en la medición de fricción, se muestra en el siguiente gráfico.



## 3.2 Montaje de Vigas Pre-vaciadas de Hormigón Pre-comprimido

### 3.2.1 Generalidades

Las vigas pre-vaciadas de hormigón pre-comprimido son usualmente montadas en su posición usando camiones grúas, o mediante vigas de montaje de acero con un puente grúa. Las siguientes materias son significantes para la selección adecuada del método de lanzamiento de las vigas prefabricadas de hormigón pre-comprimido.

- Geografía del lugar
- Condiciones del suelo
- Condición del patio de fabricación (ubicación, ancho y longitud)
- Peso de la viga
- Disponibilidad del equipamiento especializado y/o pesado
- Accesibilidad de las áreas de trabajo
- Obstáculos sobre y bajo la viga a ser montada
- Seguridad de manejo y montaje

### 3.2.2 Método de Montaje

#### (1) Montaje Mediante Camión Grúa

Este método es adecuado para puentes dónde el camión grúa puede ser estacionado cerca de los estribos o cepas del puente, o entre las cepas del puente. La capacidad requerida de las grúas depende de la aplicación de la longitud y el radio de trabajo de la pluma de la grúa.

##### (a) Camión Grúa Único

Un camión grúa puede levantar una viga y colocarla en su posición, lo que es conveniente para puentes de pequeña escala con vigas de hormigón pretensadas con un peso bajo las 15 tons. En el caso de un camión grúa, estacionado entre las cepas del puente, la capacidad de levantamiento requerida de la grúa es de alrededor de 2 a 3 veces el peso de la viga (camión grúa de 30 a 45 tons). En el caso del camión grúa estacionada justo detrás del estribo del puente, la capacidad de levantamiento requerido de la grúa es de alrededor de 6 a 8 veces el peso de la viga (camión grúa de 90 a 120 tons).

##### (b) Dos Camiones Grúa

En este método de montaje, el montaje de las vigas armadas es usualmente ubicado entre la luz del puente, en que las vigas pre-vaciadas del puente son llevadas y colocadas en los estribos o cepas por dos camiones grúa. La capacidad de levantamiento de la grúa usualmente requerida es de alrededor de 1,5 a 2,0 veces el peso de la viga. Tomando en consideración la disponibilidad de los camiones grúa pesados y de la seguridad de las obras de montaje, este método es aplicable para vigas de puente pre-vaciadas con pesos bajo las 80 tons. Este método es usualmente aplicado para vigas pre-vaciadas con un peso entre los 15 a 70 tons, y en casos especiales sobre las 70 tons. Los camiones grúa adecuados para el montaje de vigas de puente pre-vaciadas, se muestran en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1 Camión Grúa Adecuados para la Colocación de Vigas.

Longitud de la Viga Pre-vaciada	Peso de la Viga Prefabric.	Capacidad del Levantamiento Adecuado del Camión Grúa
15 – 18m	15 – 20 tons	(30-40 tons) × 2 grúas
20 – 22m	25 – 30 tons	(45-60 tons) × 2 grúas
25 – 30m	50 – 70 tons	(90-130 tons) × 2 grúas

(2) Montaje por Viga Especializada.

Este método es conveniente para el montaje de las vigas post-tensadas con longitudes de 25m hasta los 45m (peso de 50 - 135 tons) y para el montaje de vigas armadas especializadas en sucesión sobre varias luces. Hay dos tipos de vigas armadas especializadas, la viga armada de acero única y dos vigas armadas de acero. El montaje no está influenciado por la altura de las cepas o la existencia de una vía fluvial, y no hay restricción en la condición del terreno bajo las vigas de montaje. Los costos de transporte, ensamble y desmontaje de las vigas de acero son relativamente altos, por lo tanto, éste no es método económico para vigas de pequeñas luces o un puente de pocos tramos.

Dos tipos de montaje de viga armada especializada se muestran en la Figura 5.6.

(3) Montaje Mediante Puente Grúa

En este método, un par de puentes grúa tipo pórtico, son levantados sobre las cepas, de modo de ubicar en su posición a las vigas pref-vaciadas que han sido lanzadas por un riel o un camión trailer corriendo a lo largo del borde de la luz proyectada.

(a) Método del puente grúa fijo.

En este método, un par de puentes grúa es fijado por sus piernas al terreno para poder levantar y ubicar las vigas de hormigón en su posición.

(b) Método del puente grúa móvil

En este método, un par de puentes grúa están ubicadas sobre una oruga en el terreno a lo largo de la luz del puente por lo que puede moverse libremente sobre la luz del puente.

Ambos métodos se muestran respectivamente en las Figuras 5.7 y 5.8.

(4) Montaje mediante un pórtico.

En este método, los soportes de acero son construidos parcial o en forma completa entre la luz del puente, con lo cual las vigas pre-vaciadas son llevadas para ser colocadas en su lugar.

(a) Método tipo pórtico

En este método, los apoyos que son ensamblados se utilizan entre la luz completa del puente, en la cual las vigas de hormigón prefabricadas pueden ser tiradas.

### (b) Método del pórtico móvil

En este método, el extremo de la viga de hormigón prefabricada es recibido en el pórtico móvil corriendo a lo largo del riel que está al nivel del terreno, y el montaje puede ser realizado mediante el arrastre del pórtico móvil.

Ambos métodos se muestran respectivamente en las Figuras 5.9 y 5.10.

Las características de estos métodos son;

- Necesita de suficiente espacio para que el pórtico sea ubicado y que es necesario para moverlo sobre la luz.
- Cuando la altura de la cepa es baja y el terreno bajo el pórtico es firme, es posible instalar las vigas de gran peso.

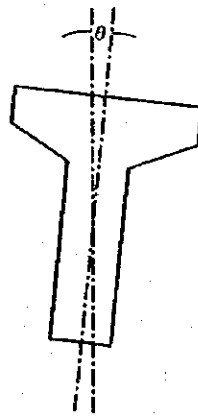
### 3.2.3 Selección del Método de Montaje

La selección del método de montaje se muestra en la Tabla 5.2, en la cual los métodos son designados con  $\odot$ ,  $\circ$  y  $\Delta$  en orden a su frecuencia de uso.

### 3.2.4 Medidas de Seguridad

Desde y durante el transporte, las vigas de hormigón pre-comprimido están sujetas solamente al esfuerzo combinado correspondiente al pre-comprimido y a la flexión debida al peso propio, el esfuerzo de tensión permitido en la fibra superior de la viga es de  $13,4 \text{ kg/cm}^2$ .

Si la viga está inclinada a la izquierda o derecha, el momento flector actúa lateralmente debido al peso propio y el esfuerzo de tensión está inducido en un lado y en la fibra superior de la viga.



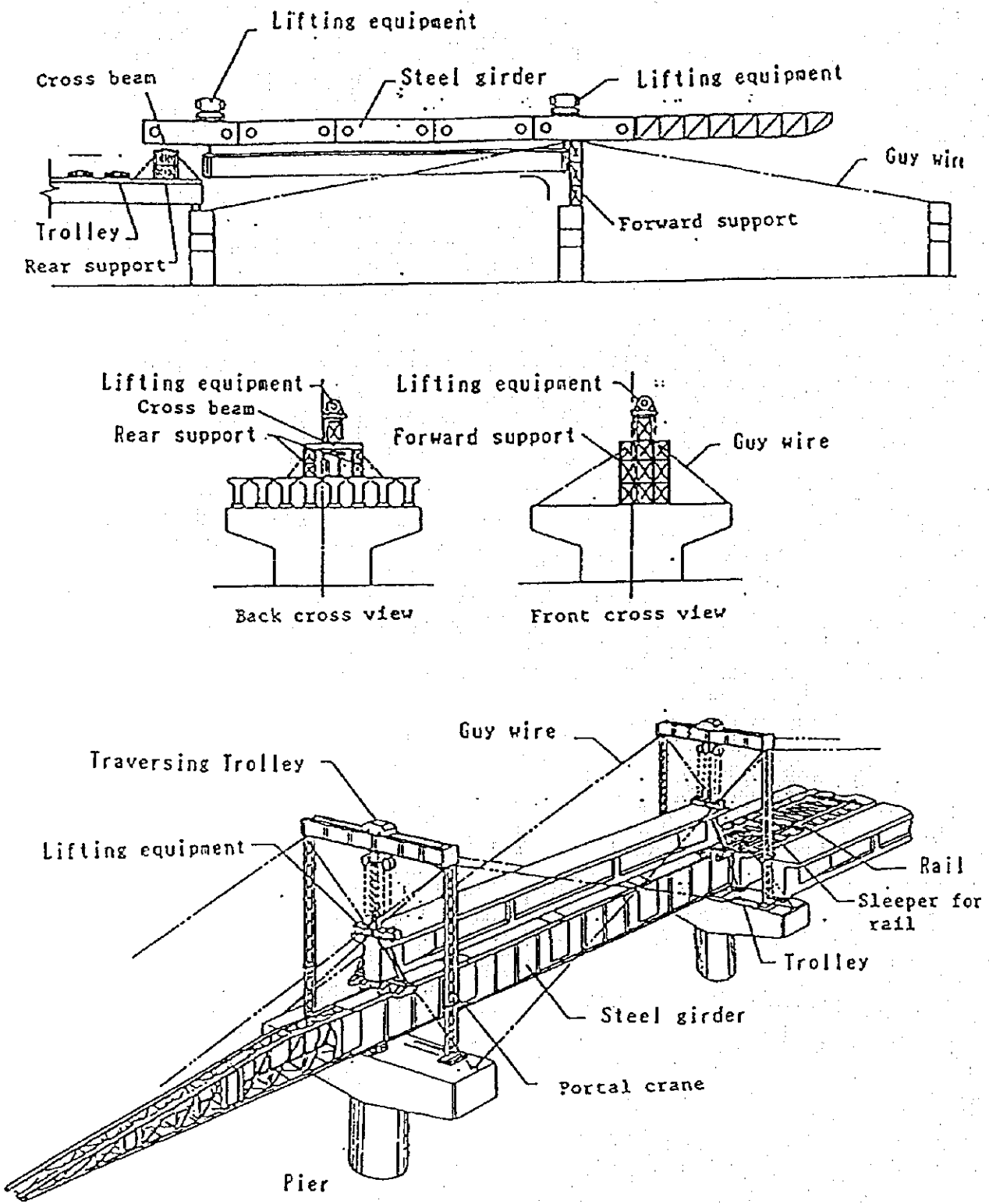


Fig. 5.6 Montaje mediante una Viga Lanzamiento de Acero

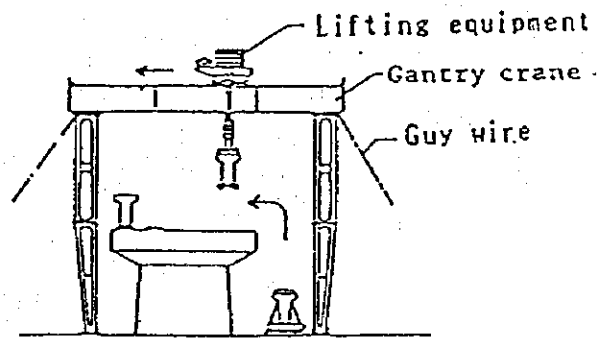
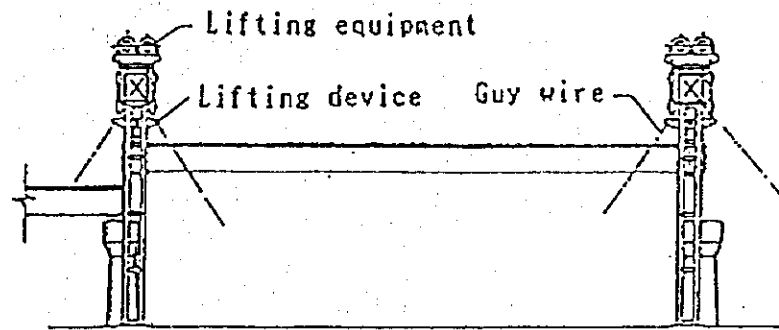


Fig. 5.7 Método de la Grúa Aporticada Fija

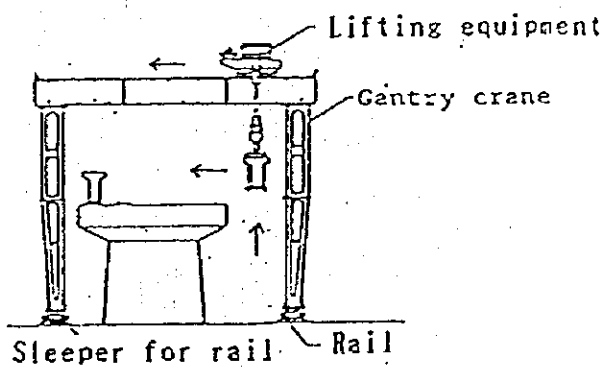
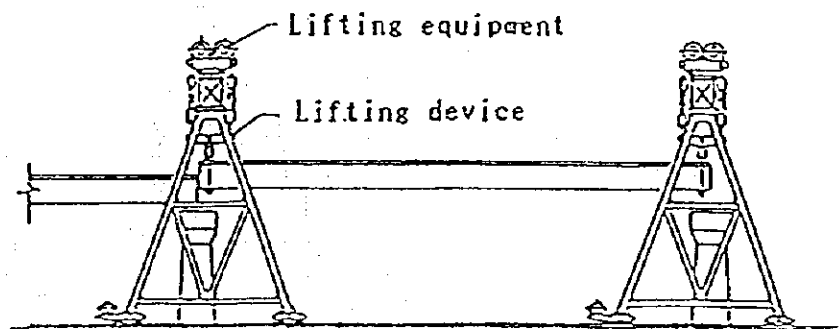
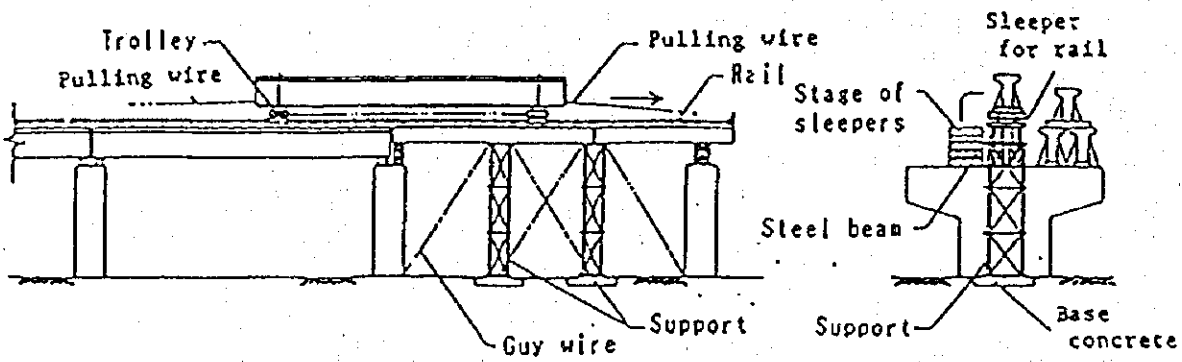


Fig. 5.8 Método de la Grúa en Pórtico Auto Deslizable

A Carrying and down method



B Carrying and shifting method

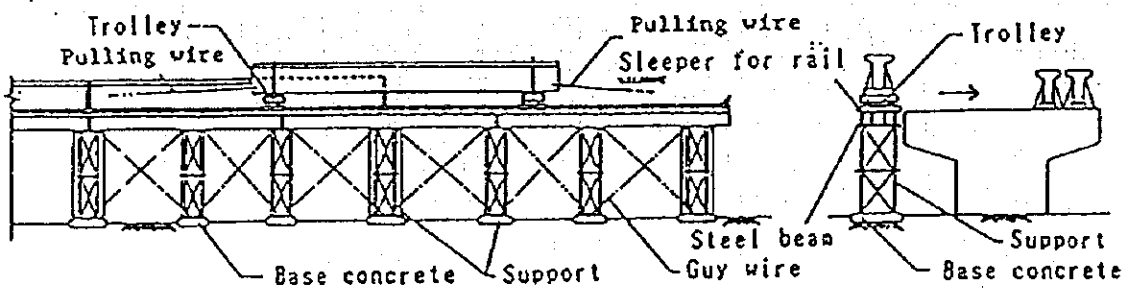


Fig. 5.9 Lanzamiento mediante Caballete

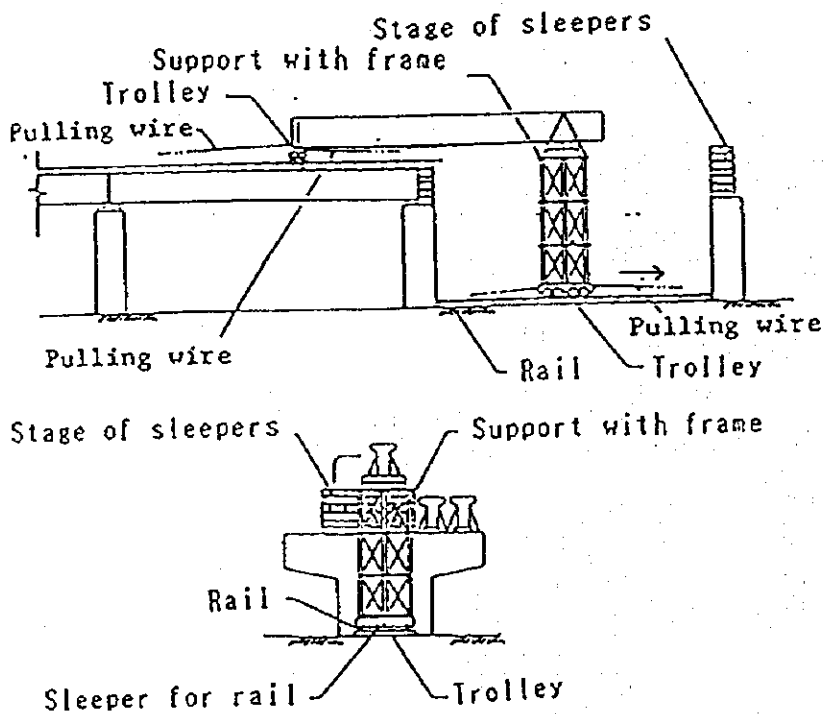


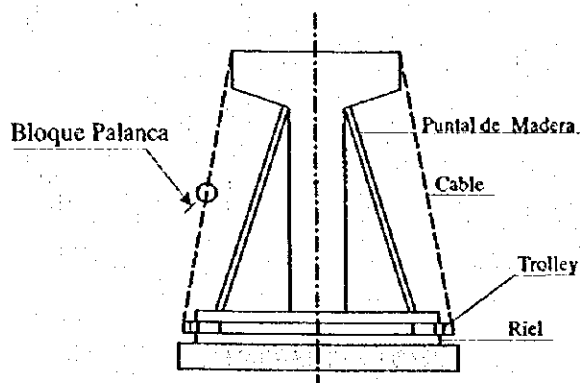
Fig. 5.10 Lanzamiento mediante Caballete Deslizante



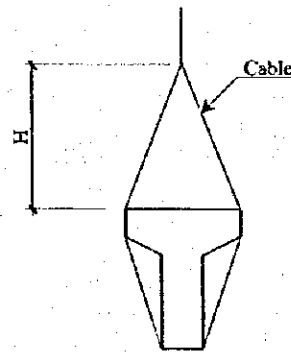


Por lo tanto, un apropiado manejo y estudio de montaje será emprendido especialmente para vigas grandes y esbeltas, para evitar el pandeo lateral o la rotura durante las numerosas etapas del manejo y montaje.

- **Posición del apoyo temporal**  
Las vigas pre-comprimidas solamente permiten ser suspendidas o apoyadas firmemente en sus puntos de apoyo.
- **Montaje de las vigas**  
Las vigas grandes y esbeltas serán aseguradas contra el volcamiento por medio de soportes auxiliares y temporalmente apuntaladas o arriostradas.



Transporte de la Viga



Lanzamiento por Camión Grúa

$H \geq 1,5m$  para Vigas Pretensadas  
 $H \geq 2,0m$  para Vigas Postensadas

#### Inclinación Admisible de la Viga.

Las siguientes ecuaciones deberán ser satisfechas

$$\delta ct' \times \eta + \delta do' \times \{1 - (Zc')/(Zh) \times \text{sen}\theta\} \geq \delta cat''$$

$$\text{Por lo tanto, } \theta = \text{sen}^{-1} \{ (\delta cat'' - \delta ct' \times \eta - \delta do') / \delta do' \times (Zh / Zc') \}$$

- Donde;
- $\theta$  : Ángulo de inclinación admisible
  - $\delta cat''$  : Esfuerzo de Tensión admisible debido a la carga temporal durante el manejo y montaje =  $-25\text{kg/cm}^2$ .
  - $\delta ct'$  : Esfuerzo de tensión en la fibra superior debido al pretensado ( $\text{kg/cm}^2$ )
  - $\delta do'$  : Esfuerzo de compresión en la fibra superior debido al peso de la viga armada ( $\text{kg/cm}^2$ ).
  - $Zc'$  : Modulo de la sección en el eje X-X en la fibra superior ( $\text{cm}^3$ ).
  - $Zh$  : Modulo de la sección en el eje Y-Y En la fibra extrema del ala ( $\text{cm}^3$ ).
  - $\eta$  : Coeficiente efectivo del pretensado debido a la pérdida = 0.95

### **3.3 Montaje de Vigas Armadas de Acero**

#### **3.3.1 Generalidades**

El montaje de una superestructura de acero significa ensamblar los elementos fabricados de acero en una planta, sobre la infraestructura en el lugar de construcción. En orden a obtener los requisitos de calidad pero de una manera económica y eficiente, dentro de un periodo de construcción limitado, los procedimientos de montaje han de ser considerados desde el comienzo del proyecto de puente.

#### **3.3.2 Investigación Preliminar**

Descritos a continuación están los ítems que tienen que ser investigados para la confección de la implementación de un plan del montaje de las vigas armadas de acero.

##### **(1) Ruta de Transporte**

Tienen que ser investigada la ruta para transportar los materiales de construcción y la maquinaria, prácticamente desde el patio de almacenaje hasta el punto exacto de la obra, para saber si hay algún problema, y encontrar una medida preventiva si son encontrados.

##### **(2) Situación en el emplazamiento del puente**

Los ítems de investigación están aproximadamente clasificados dentro de una investigación de la estructura y una investigación geológica. Ambas afectan profundamente la preparación para el transporte.

###### **(a) Investigación de estructuras**

###### **- Medición de la infraestructura**

La infraestructura ha de ser medida no sólo en términos de las dimensiones principales, sino que para conocer la ubicación exacta de los apoyos y los huecos para los pernos de anclaje.

###### **- Estructuras existentes**

La investigación debe ser hecha en términos de la existencia, ubicación y dimensión de las estructuras tal como cables aéreos, cables subterráneos, caminos de acceso y así sucesivamente

###### **(b) Investigación Geográfica y Geológica**

###### **- Geografía**

La preparación de la cancha y el apilamiento de material, así como los caminos de acceso deben ser geográficamente estudiados y luego conseguidos.

###### **- Estrato de Apoyo**

Las fuerzas del suelo en los estratos de apoyos y la existencia napas, afecta seriamente la selección de la estructura de fundaciones provisionarias o la ubicación de los anclajes de la grúa móvil.

###### **- Lecho del río**

La geología, profundidad y ancho tienen que ser investigados antes de que el plan de montaje se haga, y el resultado pueda ser usado para la determinación del

emplazamiento de la grúa, confeccionando el plan con varios tipos de protección contra el flujo de agua.

### (3) Condiciones Naturales.

Principalmente los ítems que vienen a continuación deben ser estudiados y los resultados se deben reflejar dentro del plan de montaje.

- (a) Clima : número de días de lluvia, temperatura, dirección del viento y niebla.
- (b) Hidrología : Precipitación, nieve, nivel del agua, velocidad del flujo y caudal.

### (4) Condiciones Medio Ambientales.

Estos ítems de estudio como los que son nombrados a continuación, deben ser realizados redactando una medida preventiva en terreno.

- (a) Medio Ambiente Natural: Bosque, Lagos y Paisaje.
- (b) Medio Ambiente Histórico: Restos históricos.
- (c) Medio Ambiente en la Vida Diaria: Medio ambiente circundante, convenio con la tierra, ruido, vibración, luz solar, etc.

## 3.3.3 Plan de Implementación.

### (1) Generalidades.

El contratista debe hacer un plan de construcción detallado, basado en los resultados obtenidos de la investigación preliminar, el plan necesita incluir consideraciones en estos ítems que se muestran a continuación.

- (a) Diagrama de organización del contratista
- (b) Lista de los principales materiales y maquinarias de construcción empleadas en el lugar.
- (c) Procedimiento de trabajo (incluyendo los planos de montaje).
- (d) Verificación de las tensiones de montaje.
- (e) Medidas del control de calidad y seguridad.

### (2) Planos de Montaje

El contratista debe someterse a ilustrar la totalidad de los planos de su método de montaje propuesto. Los planos deben mostrar detalles de todos los pórticos de obra falsa (apuntalamiento), arriostamientos, tirantes, muertos, dispositivos de levantamiento, y accesorios para los miembros del puente: La secuencia de montaje, ubicación de las grúas y lanchones, capacidad de la grúa, ubicación de los puntos de levantamiento en los miembros del puente, y el peso de los miembros. El plan y los planos serán completados en detalle para todas las fases anteriores y las condiciones durante el montaje. Los cálculos pueden ser requeridos para demostrar que el esfuerzo admisible no es excedido y que la capacidad del miembro y la geometría final será la correcta.

### (3) Verificación de los Esfuerzos de Montaje.

Cualquier tensión de montaje que es inducida en la estructura como resultado de un método de montaje o equipamiento, que difieran de los que se muestran en los planes o especificaciones, y que permanecerán en la estructura terminada como una tensión encerrado deberá ser explicado.

#### **(4) Medidas de Control de Calidad y Seguridad.**

##### **(a) Control de Calidad**

La calidad debe ser controlada para asegurar la calidad de la estructura.

Para alcanzar este propósito, es necesario confirmar que la resistencia y dimensiones de la estructura corresponda con las especificaciones y los planos en cada paso de la construcción y término.

La fotografía es a menudo usada para tomar un registro. En el caso de que algunas partes de una estructura queden ocultas después de su acabado, entonces la calidad de esta parte debe ser registrada mediante fotos, las que deberán ser guardadas.

Los principales ítems que se controlan son:

- Torque introducido al interior del lugar dónde se ubican los pernos de alta resistencia
- Evaluación de la superficie superior de un puente (incluyendo el control de la flecha) y la geometría final.
- Espesor de la película seca del recubrimiento de pintura terminada.

##### **(b) Control de Seguridad**

Las medidas de seguridad deben ser tomadas tan cuidadosamente como sea posible contra la pérdida y daño de las vidas, dándose a conocer en el plan de montaje.

#### **3.3.4 Procedimiento de Montaje.**

##### **(1) Clasificación del Procedimiento de Montaje.**

El procedimiento de montaje de las vigas de acero es clasificado desde dos puntos de vista.

Ellas son:

- Clasificación por un principio empleando máquina de montaje, y
- Clasificación por un método de soportes de los elementos del puente.

Usualmente un método de montaje es expresado en principio tanto por la maquinaria como por el método de apoyo que utiliza, tal como "el método de montaje sobre apoyos provisionales por grúa de orugas".

##### **(2) Selección del Procedimiento de Montaje**

En la selección del procedimiento de montaje más conveniente, varias alternativas factibles deben ser estudiadas y comparadas desde los puntos de vista de la economía, seguridad y período de construcción. Comúnmente el plan más simple es el más económico. Los métodos practicables de montaje de puentes de acero se pueden seleccionar basándose en características geográficas alrededor del puente, usando el diagrama de flujo que se muestra en la Fig. 5.11 y en la Tabla 5.3.

##### **(3) Tipos de Procedimientos de Montaje.**

#### **3.3.5 Detalle de la Obra de Montaje.**

##### **(1) Conformación de los Planos**

El procedimiento de montaje debe conformarse, sometido a los planos de montaje. Cualquier modificación o desviaciones de este procedimiento de montaje, requerirá la verificación de los esfuerzos y la geometría.

## **(2) Mantenimiento del Alineamiento y de la Contraflecha**

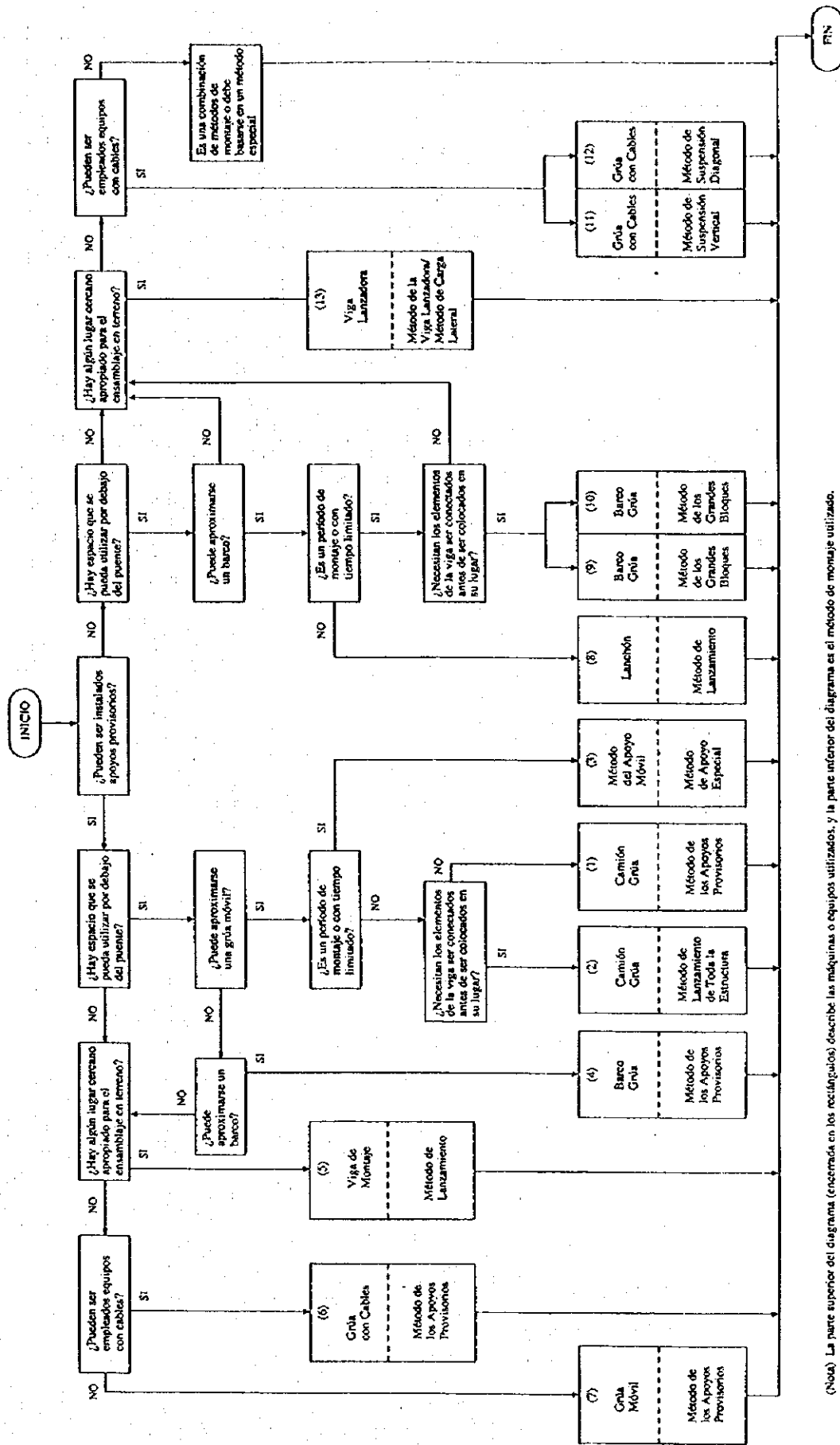
Durante el montaje, el contratista será responsable por el apoyo de segmentos de la estructura de forma que producirá el alineamiento y contraflecha adecuados en la estructura terminada. Los marcos transversales y arriostramientos diagonales serán instalados mientras sea necesario durante el proceso de montaje para proporcionar estabilidad y asegurar la geometría correcta.

## **(3) Montaje en Terreno**

Las partes deben ser ensambladas con precisión como muestran los planes o planos de montaje, y cualquier marca gufa será seguida. El material será cuidadosamente manejado para que las partes no sean dobladas, quebradas, o dañada de otra manera. El martilleo que perjudicará o torcerá los miembros no deberán hacerse. Las superficies del apoyo y las superficies que estarán en contacto permanente, serán limpiadas antes que los miembros se ensamblen. Los empalmes y las áreas de conexión tendrán uno y medio de los orificios llenos con pernos y con espigas cilíndricas (mitad de pernos y mitad de espigas) antes de la instalación y apretando el balance de los pernos de alta resistencia. Los empalmes y conexiones que tengan tráfico provisorio durante el montaje tendrán tres cuartos de los orificios llenados.

## **(4) Desajuste**

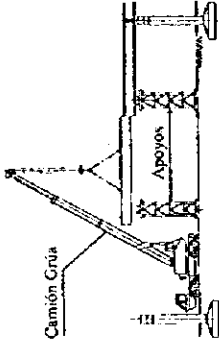
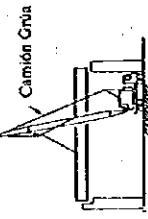

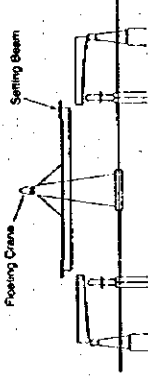
La corrección de desajustes menores que involucra cantidades menores de remanentes, cortes, serán considerados una parte legítima del montaje. Sin embargo, cualquier error en el taller de fabricación o deformación, resultando del manejo y transporte, ha de ser evitado dentro de lo posible.



(Nota) La parte superior del diagrama (encerrada en los rectángulos) describe las máquinas o equipos utilizados, y la parte inferior del diagrama es el método de montaje utilizado.

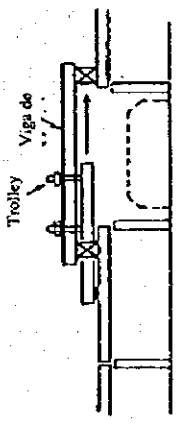
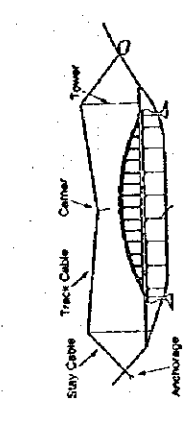
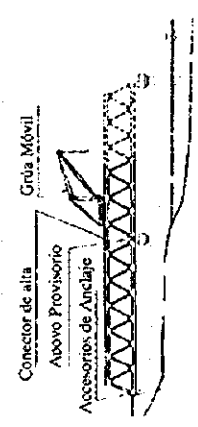
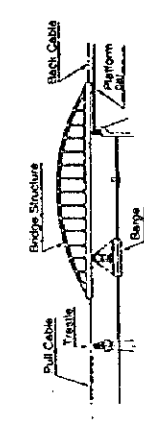
Fig. 5.11 Diagrama de Flujo

Tabla S.3 PROCEDIMIENTO DE MONTAJE (1)

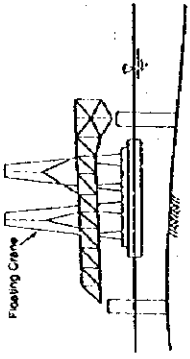
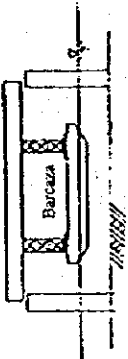
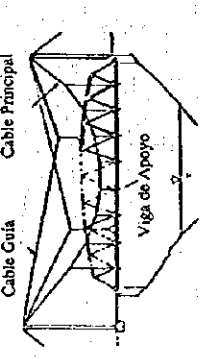
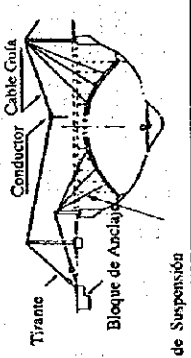
N°	Procedimiento	Figura	Conditions	Descripción	Características
1	Camión Grúa & Apoyos Provisionarios		<p>(1) Un camión grúa puede aproximarse al lugar.</p> <p>(2) Pueden ser instalados los cabalotes(apoyos) de apuntalamiento por debajo del puente.</p> <p>(3) El terreno es lo suficientemente resistente para las fuerzas de reacción de los elementos de anclaje de la grúa.</p>	<p>(1) Son instalados apoyos provisionarios en los puntos cercanos a las uniones de las vigas.</p> <p>(2) Los elementos del puente son levantados y ubicados en los apoyos por un camión grúa.</p> <p>(3) El puente es ensamblado por la conexión de pernos de alta resistencia.</p>	<p>(1) El camión grúa tiene la suficiente movilidad. Se necesita de una menor infraestructura provisoria que para otros métodos.</p> <p>(2) El periodo de montaje es el mínimo entre los otros métodos.</p> <p>(3) El ajuste de la geometría es fácil.</p>
2	Camión Grúa & Levantamiento de Toda la Estructura		<p>(1) Un camión grúa pesado puede aproximarse al lugar.</p> <p>(2) El terreno es lo suficientemente fuerte para resistir al camión grúa.</p> <p>(3) No hay cables aéreos o si hay algunos éstos pueden ser provisoriamente removidos.</p>	<p>(1) Las vigas son ensambladas con una longitud igual al tramo, en un terreno cercano.</p> <p>(2) Son levantadas e instaladas por un camión grúa pesado en la posición correcta de una sola vez.</p>	<p>(1) Debido a que la grúa tiene movilidad, las infraestructuras provisionarias pueden ser minimizadas.</p> <p>(2) En caso de que el suelo no sea lo suficientemente fuerte, debe ser reforzado.</p> <p>(3) Se requiere de una grúa pesada, siendo difíciles de conseguir y además son caras.</p>
3	Apoyo Móvil & Viga deslizante		<p>(1) Se necesita un lugar espacioso para el ensamblaje de todo el puente, cercano a la posición del puente.</p> <p>(2) El suelo del lugar de ensamblaje debe ser lo suficientemente fuerte para resistir el peso propio de todo el puente.</p>	<p>(1) El puente es armado en el suelo.</p> <p>(2) Un extremo está apoyado en un caballete móvil, deslizándose sobre rieles ubicados bajo él, y el otro extremo está apoyado en un carro plataforma.</p> <p>(3) La estructura del puente es tirada longitudinalmente por los rieles por un huinche o un carro plataforma automotor.</p> <p>(4) Después que el puente llega al otro estribo, es bajado con gatos hidráulicos.</p>	<p>(1) Son necesarios varios equipos para mover y bajar el puente.</p> <p>(2) El periodo de ocupación del terreno bajo el puente puede ser minimizado.</p>
4	Barco Grúa & Apoyos Provisionarios		<p>(1) El río o mar bajo el puente es lo suficientemente profundo, pero el flujo no es demasiado rápido para el trabajo del barco grúa.</p> <p>(2) El barco grúa puede aproximarse al punto de unión o se puede conseguir una grúa desmontable. Apoyos provisionarios pueden ser instalados bajo el puente.</p>	<p>(1) Los segmentos del puente son ensamblados en grandes bloques en un lugar cercano.</p> <p>(2) El bloque es transportado al punto de conexión directamente por un barco grúa, o por una que esté ubicada en un lanchón y transportada al lugar.</p> <p>(3) El bloque es levantado y puesto en la posición correcta por la grúa flotante.</p> <p>(4) El bloque es conectado con los bloques vecinos mediante pernos de alta resistencia.</p>	<p>(1) El periodo de montaje es breve y el trabajo manual en alta altura es poco.</p> <p>(2) El sistema estructural durante el transporte y montaje es diferente al de la estructura completada, por lo tanto se deben revisar las deflexiones y tensiones producidas durante el montaje, y si es necesario se deben reforzar algunos elementos.</p> <p>(3) La longitud y peso del bloque deben ajustarse a la capacidad de la grúa flotante.</p>



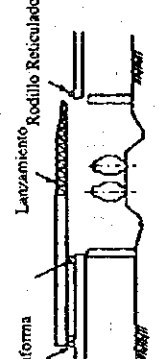
PROCEDIMIENTO DE MONTAJE (2)

N°	Procedimiento	Figura	Condiciones	Descripción	Características
5	Viga de Montaje & Lanzamiento	 <p>Trolley Viga de</p>	<p>(1) El uso del espacio bajo el puente está limitado por el tránsito u otra razón.                  (2) Se necesita de una viga de montaje especial capaz de soportar una viga principal.                  (3) Este método de montaje es bueno para puentes de tramos cortos y múltiples.</p>	<p>(1) La viga de montaje es ensamblada, adjuntando además una viga de lanzamiento en un terreno cercano.                  (2) La viga de montaje es sacada y fijada en la posición correcta.                  (3) La viga principal del puente es ensamblada en un terreno próximo, luego se tira de ella longitudinalmente siendo suspendida por la viga de montaje.                  (4) La viga es luego bajada y movida lateralmente a la posición correcta.</p>	<p>(1) No hay necesidad de hacer uso del espacio bajo el puente.                  (2) La adopción de este método de montaje depende de la capacidad de la viga de montaje.                  (3) Este método no es adecuado para puentes de tramos largos.                  (4) Los equipos de montaje deben ser instalados en una gran escala.</p>
6	Grúa de Cables & Apoyos Provisionales	 <p>Sway Cable Tower Carrion Anchorage</p>	<p>(1) Debe ser posible instalar torres de acero, los acnelajes para la grúa de cables y los apoyos provisionales.                  (2) La curva no es curva.                  (3) Debe haber un camino de acceso en uno de los bancos, a través del cual los elementos del puente son transportados.                  (4) En caso de existir cables aéreos por encima o cercanos al puente, debe ser posible moverlos o removerlos.</p>	<p>(1) Se instala el equipamiento de la grúa, el cual permite transportar elementos del puente a cualquier punto, incluso a lugares de trabajo.                  (2) La grúa transporta los materiales para construir los caballetes, los que servirán como apoyos provisionales de elementos del puente.                  (3) La grúa levanta y ubica los elementos de acero sobre los caballetes uno a uno.</p>	<p>(1) Toma muchos días instalar los anclajes y armar y desarmar los equipos provisionales tales como la grúa de cables.                  (2) La longitud y el peso de los elementos están limitados por la capacidad de la grúa de cables.                  (3) La contraflecha puede ser fácilmente ajustada.                  (4) La posibilidad de si este método es adoptado depende de las condiciones geográficas.</p>
7	Grúa Móvil & Apoyos Provisionales	 <p>Conector de alta Apoyo Provisionario Grúa Móvil Accesorios de Anclaje</p>	<p>(1) Pueden ser instalados los pilares bajo el puente.                  (2) Se debe conseguir los accesorios y elementos de la grúa móvil para el puente.</p>	<p>(1) Pilares o caballetes temporales son instalados en el terreno.                  (2) Un lado del tramo es montado por un camión grúa sobre los caballetes o pilares.                  (3) Una grúa móvil es armada en lado construido del tramo.                  (4) Los elementos del puente son levantados y conectados a la parte ensamblada.                  (5) Este proceso continúa hasta completar la</p>	<p>(1) El trabajo de montaje no depende de las condiciones del espacio bajo el puente.                  (2) Las tensiones por deflexión y el montaje deben ser revisadas y si es necesario se deben reforzar algunos elementos.                  (3) después de que el puente alcanza el otro extremo, los apoyos y conectores provisionales deben ser removidos.                  (4) Los agujeros de los pernos deben ser perforados con mucha precisión.</p>
8	Lanchón (Barcuza) & Lanzamiento	 <p>Push Cable Trestle Bridge Structure Banch Cables Platform Barge</p>	<p>(1) Hay un terreno adecuado para el montaje en terreno muy próximo al puente.                  (2) El agua bajo el puente es lo suficientemente profunda y el flujo no es demasiado rápido.                  (3) Hay suficiente espacio para el amarre del lanchón y así mantener la posición correcta.                  (4) El nivel del agua debe ser constante.</p>	<p>(1) Una superestructura es ensamblada en el camino de acceso.                  (2) Un extremo es separada por el lanchón, y el otro está sobre el camino de acceso.                  (3) El lanchón y la superestructura son tiradas con una cuerda o cable hasta que un extremo alcance el otro estribo.</p>	<p>(1) Cuando el nivel de las aguas es muy bajo, el lanchón necesita una plataforma alta y se vuelve inestable.                  (2) En el caso de que un elevador deslizable por el cual la estructura es tirada, es demasiado alta comparada con el asiento o apoyo del puente, entonces se necesitará de equipos (gatos hidráulicos) de mayor escala bajar la estructura.</p>

PROCEDIMIENTO DE MONTAJE (3)

N°	Procedimiento	Figura	Condiciones	Descripción	Características
9	Barco Grúa & Grandes Bloques	 <p>FOOTING CRANE</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>(1) El agua es lo suficientemente profunda para permitir que un barco grúa se aproxime al punto de unión.</li> <li>(2) La estructura puede ser ensamblada en un terreno cercano, o en una planta y luego transportada por una barcaza o lanchón.</li> <li>(3) No hay cables aéreos o bajo el agua que obstruyan.</li> <li>(4) Las tensiones durante el transporte y montaje deben ser revisadas, y reforzar si es necesario.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>(1) los elementos son ensamblados en grandes bloques en un muelle o un patio cercano al lugar.</li> <li>(2) El bloque es transportado por la barcaza o suspendido por un barco grúa directamente al punto de unión.</li> <li>(3) El bloque es colocado en su posición por el barco grúa.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>(1) El período de construcción es muy breve.</li> <li>(2) No hay trabajos manuales en grandes alturas, siendo más seguro</li> <li>(3) Mucho de los costos se gastan para reforzar la estructura y la barcaza, así como también los apoyos provisionales que conectan los bloques con la barcaza.</li> <li>(4) El barco grúa implica un alto costo en sus viajes de ida y regreso del puerto.</li> <li>(5) Este método de montaje depende mucho del clima, por lo tanto es mejor evitar las temporadas cuando el viento es fuerte.</li> </ol>
10	Barcaza & Grandes Bloques	 <p>Barcaza</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>(1) El agua es suficientemente profunda para que la barcaza se aproxime al punto correcto.</li> <li>(2) El gran bloque es tal que su forma es estable para ser transportada por la barcaza.</li> <li>(3) La estabilidad y las tensiones locales de la estructura junto con la barcaza deben ser revisadas y reforzar si es necesario.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>(1) El bloque es ensamblado en un patio y transportado en la barcaza al punto de unión.</li> <li>(2) La barcaza es anclada, y el bloque es bajado sobre la cepa mediante gatas, vaciando agua de mar dentro de la barcaza o esperando por una marea baja.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>(1) El período de construcción es muy breve.</li> <li>(2) Hay pocos trabajos manuales en grandes alturas, siendo más seguro</li> <li>(3) Cuando el puente está ubicado muy por encima del agua, entonces el método es casi imposible de aplicar debido a la inestabilidad.</li> <li>(4) La barcaza debe estar pesadamente equipada.</li> </ol>
11	Grúa de Cables & Suspensión Vertical	 <p>Cable Guía Cable Principal Viga de Apoyo</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>(1) se pueden instalar una torre, los anclajes para la grúa de cables, y un cable de suspensión en ambas orillas.</li> <li>(2) Tiene que haber un terreno resistente para poder colocar las torres.</li> <li>(3) Es muy difícil colocar pilares o caballetes debido a las características topográficas.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>(1) Las torres son montadas y equipadas con grúa de cables y otros equipos de soporte de cables.</li> <li>(2) Cada elemento del puente es levantado y transportado a su posición correcta.</li> <li>(3) El elemento es provisionalmente apoyado en una viga abrazada desde el cable de soporte.</li> <li>(4) Los elementos son conectados unos con otros.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>(1) La implementación del procedimiento puede ser independiente de las condiciones que hay por debajo del puente.</li> <li>(2) Se deben tomar medidas de seguridad con el viento, y el puente debe ser reforzado como lo necesite la ocasión.</li> <li>(3) Se necesitan de muchos tipos de maquinaria.</li> <li>(4) El control de la contraficha es complicada.</li> </ol>
12	Grúa de Cables & Suspensión Diagonal	 <p>Tirante Conductor Cable Guía Bloque de Anclaje Cable de Suspensión</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>(1) Pueden ser instalados una torre, los anclajes para la grúa de cables y un cable de suspensión, en ambas orillas.</li> <li>(2) Debe haber un terreno fuerte sobre el cual la torre pueda ser montada.</li> <li>(3) Es muy difícil colocar pilares o caballetes debido a las características topográficas.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>(1) Las torres son montadas y equipadas con una grúa de cables.</li> <li>(2) Cada segmento en arco es levantado, transportado en la posición correcta por la grúa de cables y luego soportada por los cables extendidos desde la torre.</li> <li>(3) Los segmentos son conectados uno a otro mediante pernos de alta resistencia.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>(1) La implementación del procedimiento puede ser independiente de las condiciones que hay por debajo del puente.</li> <li>(2) Se deben tomar medidas de seguridad con el viento, y el puente debe ser reforzado como lo necesite la ocasión.</li> <li>(3) Este método de montaje es ventajoso para puentes en arco de varios niveles.</li> </ol>

PROCEDIMIENTO DE MONTAJE (4)

N°	Procedimiento	Figura	Condiciones	Descripción	Características
13	Viga Lanzadora & Lanzamiento y Carga Lateral		<ol style="list-style-type: none"> <li>(1) El espacio bajo el puente no puede ser utilizado por que por el corre un camino, via férrea o un cauce.</li> <li>(2) Las vigas del puente y lanzadora pueden ser armadas en el sigte.tramo o camino de acceso</li> <li>(3) Después que la viga lanzadora llega al otro lado, el desarmado es posible.</li> <li>(4) Las vigas del puente son diseñadas para que estén dispuestas en paralelo.</li> <li>(5) Las vigas son rectas.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>(1) Las vigas del puente son ensambladas en la losa del tramo siguiente el cual fue previamente terminado.</li> <li>(2) La viga lanzadora es armada y adjuntada al extremo frontal de la viga del puente.</li> <li>(3) La estructura es movida hacia adelante por hinches, gatos hidráulicos u otros elementos.</li> <li>(4) El extremo alcanza el otro lado y la viga lanzadora es desarmada.</li> <li>(5) La viga completa es bajada sobre los apoyos o asientos del puente.</li> <li>(6) Si se trata de un puente de vigas múltiples, entonces la viga es desplazada transversalmente.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>(1) La implementación del trabajo es independiente de las condiciones que hay debajo del puente.</li> <li>(2) Durante el lanzamiento, actúan localmente en la viga intensas tensiones de montaje lo que la hace vulnerable al pandeo lateral. Esas tensiones y deformaciones deben ser verificadas antes de decidir la adopción del montaje y el reforzamiento de las placas que forman el alma de las vigas o las alas, adjuntando otras placas mediante soldadura.</li> </ol>

### 3.4 Estructuras de la Excavación y Obras Temporales

#### 3.4.1 Generalidades

Las fundaciones de las infraestructuras son construidas en excavación abierta si el nivel freático es bajo y la profundidad de la excavación es menor que 5m, y si es necesario, utilizando una tablestaca de acero para retener el muro o un moldaje que será construido para evacuar la tierra y el agua del área, en orden a que el trabajo pueda ser realizado bajo una razonable condición seca. El control temporal del agua consiste en la construcción de diques, desviación de los canales y acueductos, que también son realizados especialmente en períodos de sequía.

#### 3.4.2 Excavación Abierta

Los siguientes ángulos de talud crítico de excavaciones superficiales y profundas pueden ser mantenidas durante los trabajos de excavación sin utilizar moldajes o apuntalamientos, siempre que el nivel freático sea bajo.

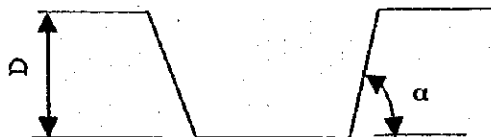
Grado de Talud Crítico y Profundidad durante la Excavación

Tipo de Suelo	Profundidad de la Excavación (D)	Ángulo del Talud ( $\alpha$ )
Roca o Arcilla Dura	$D < 5m$	$\alpha < 90^\circ$
	$D \geq 5m$	$\alpha < 75^\circ$
Otros suelos	$D < 2m$	$\alpha < 90^\circ$
	$2m \leq D < 5m$	$\alpha < 75^\circ$
	$D \geq 5m$	$\alpha < 60^\circ$
Suelo Arenoso	$D < 5m$	$\alpha < 35^\circ$

Generalmente, la profundidad de una excavación abierta es tomada de la siguiente ecuación en caso de que el nivel freático sea bajo:

$$D = 2c/\gamma \times \tan(45^\circ + \phi/2)$$

Donde; D : Profundidad de la excavación abierta (m)  
C : Cohesión del suelo ( $t/m^2$ )  
 $\gamma$  : Peso unitario del suelo ( $t/m^3$ )  
 $\phi$  : Coeficiente de fricción interna ( $^\circ$ )



### 3.4.3 Métodos de Muros de Contención (Entibaciones)

Los Métodos de Muros de Contención están clasificados en tipo de sostenimiento y tipo muro, como se muestra en la Figura 5.12 y Fig. 5.13, respectivamente.

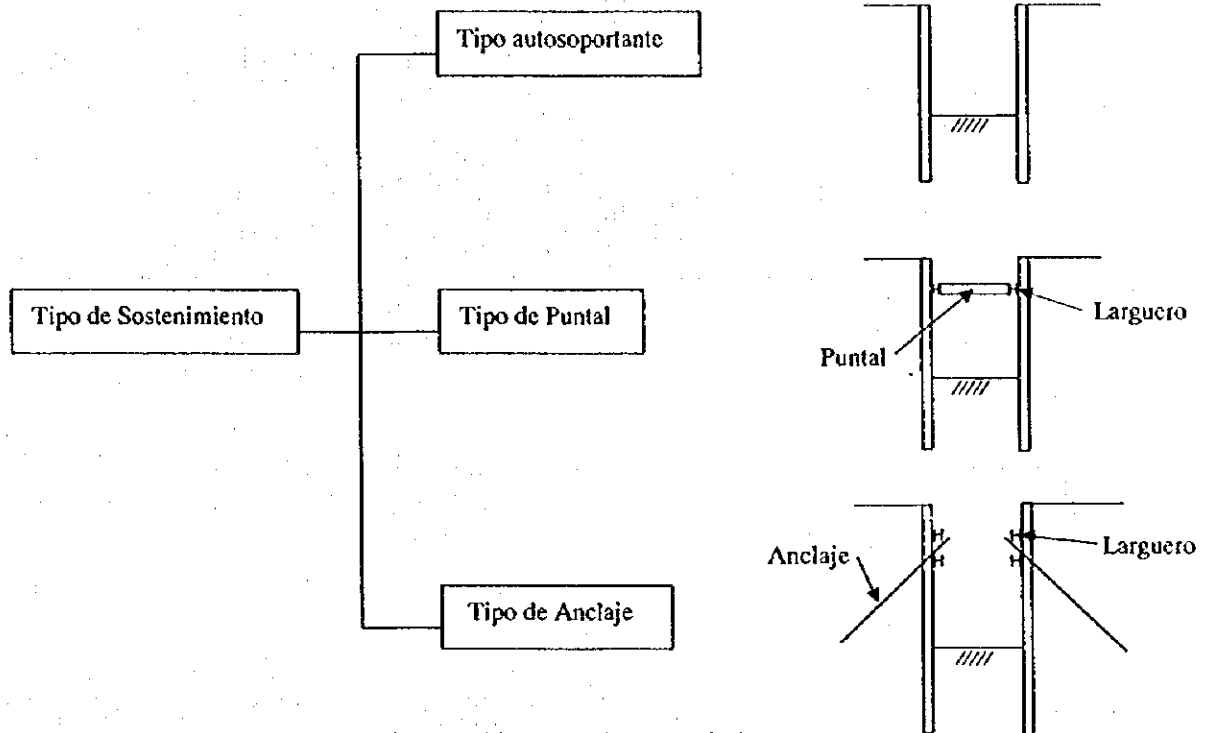


Figura 5.12 Tipo de Sostenimiento

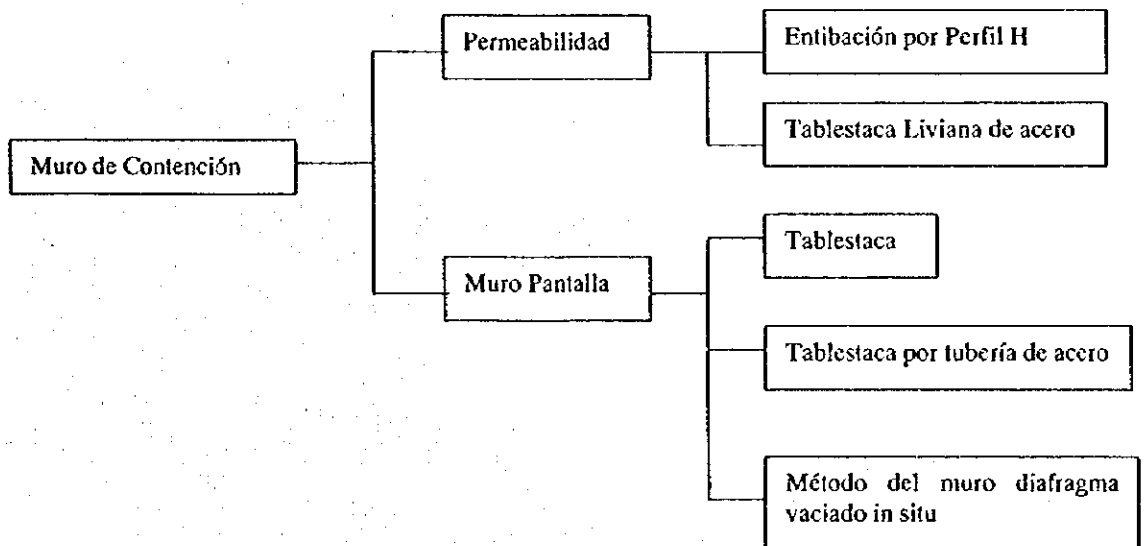


Figura 5.13 Tipos de Muro de Contención

### (1) Tipo Auto Soportante

Este tipo de muro de retención debería adoptarse cuando la excavación es poco profunda, y la presión de la tierra y la freática son bajas.

### (2) Tipo Apuntalado

En general, este tipo debería ser adoptado para el apoyo del muro de contención que recibe la presión del terreno y del agua.

- Principalmente se utiliza el perfil H, de más 300 mm.
- Los intervalos verticales de los largueros alrededor de 3m en principio, el primer larguero debería ser colocado 1m respecto de la parte superior.
- Los intervalos horizontales de los puntales deberían ser menos de 5m, con intervalos verticales de alrededor de 3m.
- La conexión para los largueros principalmente por sobre los 6m.

### (3) Tipo Anclaje

Este método debería ser adoptado en los casos de que los sistemas Auto Soportante o de Apuntalamiento no sean aplicables. La verificación de la condición de apoyo del suelo y del emplazamiento (servicios subterráneos, fundaciones de estructuras adyacentes, etc.) es necesaria para el diseño.

### (4) Entibación mediante perfiles tipo H

Usada principalmente para prevenir fallas del suelo. Durante la construcción el agua debe ser bombeada.

- En la mayoría de los casos, el perfil tipo H300 debería ser utilizado para entibamiento.
- La profundidad de empotramiento deberá ser de más de 1,5m, aún en casos donde la presión del terreno en contra del muro de contención es despreciable.
- La estabilidad de la superficie de la excavación deberá ser estudiada respecto de la ebullición (de la arena) y el levantamiento (de la arcilla).

### (5) Método del Tablestacado

Este método es para interceptar el flujo de agua y prevenir falla del terreno. También puede servir como atagüa provisoria.

- Este método es usado para excavaciones de nivel medio (de 3 a 10m).
- La profundidad del empotramiento es determinada de acuerdo a los resultados del estudio de los fenómenos de ebullición o levantamiento. La longitud mínima deberá ser 3m.

### 3.4.4 Método de la Atagüfa

Los tipos de atagüfa se muestran a continuación en la Figura 5.14.

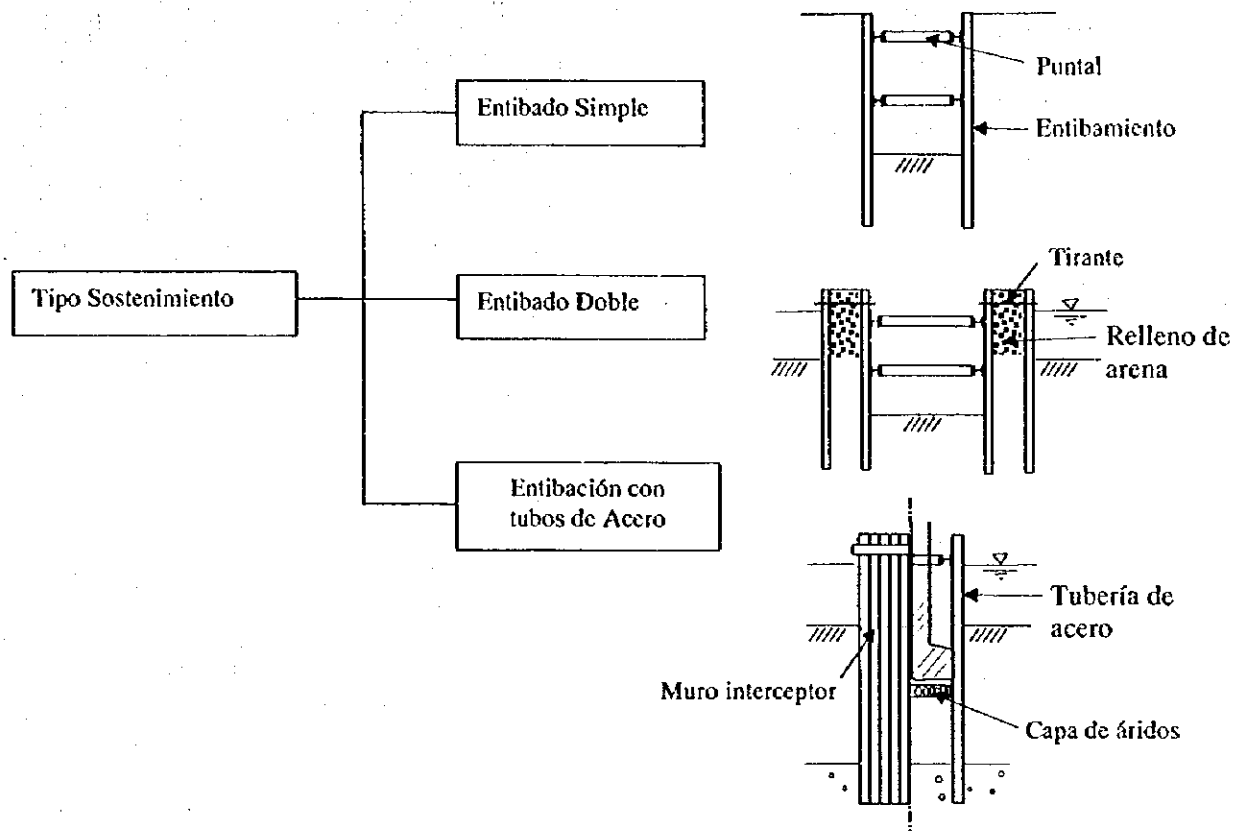


Figura 5.14 Tipos de Atagüfa.

#### (1) Entibación Simple

Método generalmente aplicado.

#### (2) Entibación Doble o Entibación mediante Tubos de Acero

Para zonas fuertemente influenciadas por mareas y flujos, tales como área cercanas a la costa, bocas de ríos, etc., se debería aplicar un dique suficientemente rígido en orden a resistir cargas repetitivas.

Los tubos de acero se usan en sí mismo como una fundación en algunas circunstancias. En tales casos, la combinación entre las tensiones sobre las fundaciones y las tensiones residuales que son comunes en un dique provisorio, debería ser chequeadas.

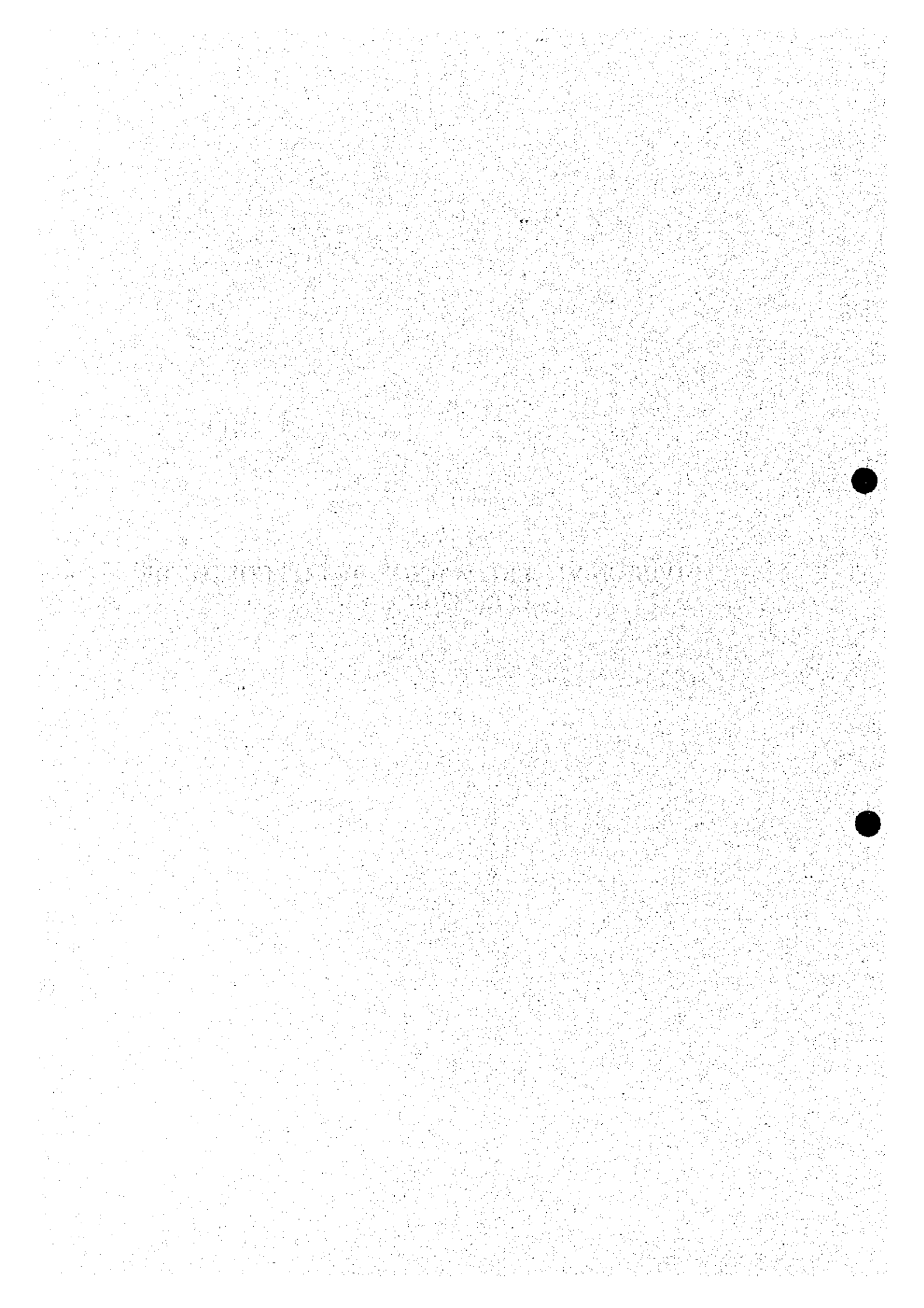
### **3.4.5 Puentes Provisorios**

Un puente provisorio o terraplén es a menudo necesario para la desviación del tránsito o para el transporte de materiales y equipos durante la reconstrucción de un puente permanente existente. Cuando un terraplén provisorio es necesario para la desviación de un camino, puede estar formado por la construcción de una alcantarilla o por el uso de vigas longitudinales de madera como entablado sobre troncos usados como cepas. Los puentes temporales generalmente usados son los siguientes:

- Puente de madera
- Puente con vigas tipo I o H de acero
- Puente militar (Puente Bailey)
- Puente flotante o pontón.



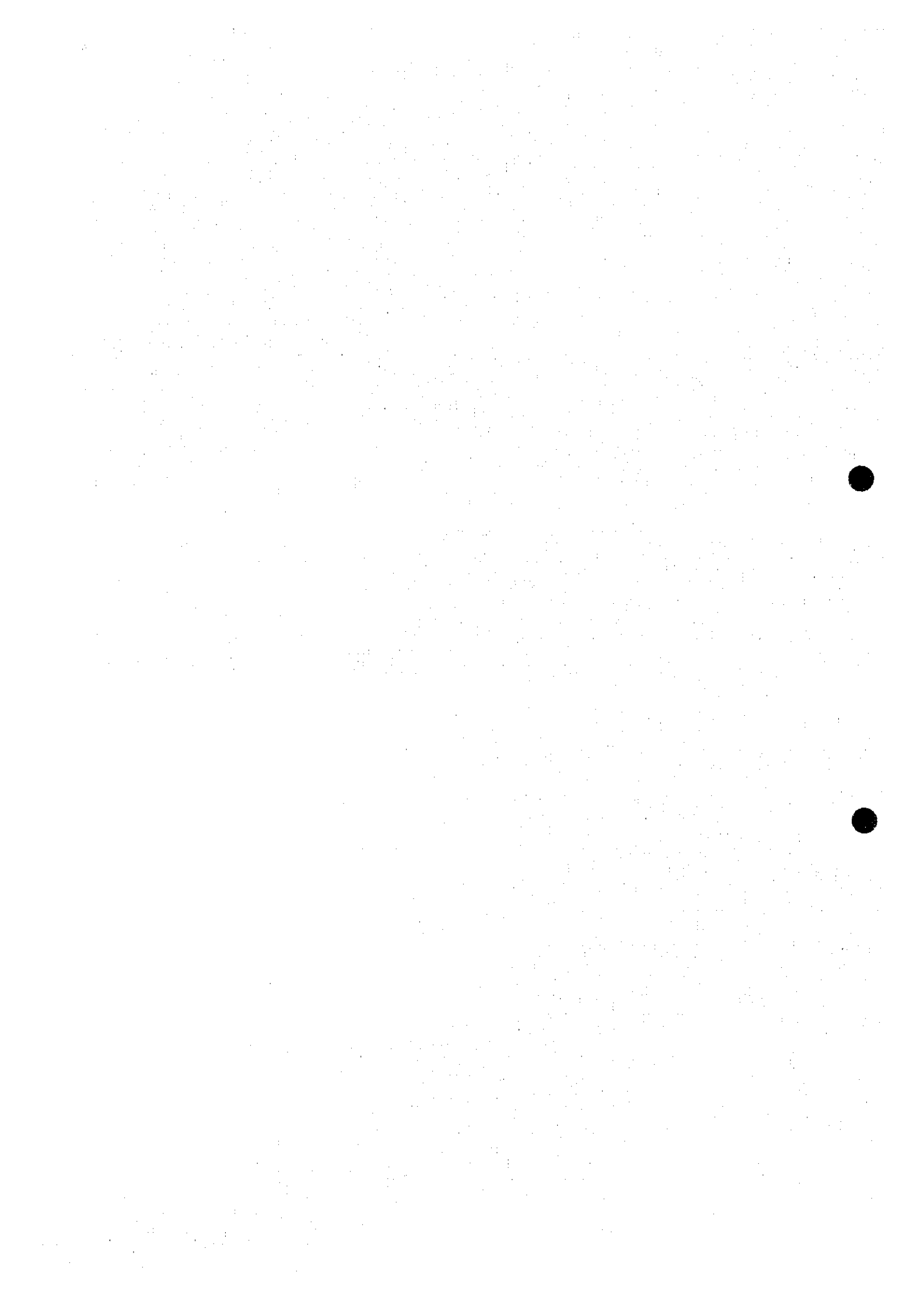
**DIVISIÓN VI ESTIMACIÓN DE LOS COSTOS DE  
CONSTRUCCIÓN**



## DIVISIÓN VI COSTO ESTIMADO DE LA CONSTRUCCIÓN DEL PUENTE

### ÍNDICE

	Página
<b>CAPÍTULO 1 GENERALIDADES</b> .....	VI-1
<b>CAPÍTULO 2 ESTIMACIÓN DE COSTOS</b>	
2.1 Objetivo de la Estimación de Costos .....	VI-2
2.2 Tipo de Estimación de Costos .....	VI-2
2.2.1 Estimación de Costos Aproximada .....	VI-2
2.2.2 Estimación de Costos Detallada .....	VI-3
2.3 Estructura del Costo Total del Proyecto.....	VI-3
2.3.1 Costo Directo.....	VI-6
2.3.2 Costo Indirecto.....	VI-9
2.3.3 Costo del Proyecto .....	VI-10
2.4 Clasificación de las Obras más Importantes .....	VI-10
2.4.1 Limpieza y Escarpe .....	VI-10
2.4.2 Estructura de la Excavación y Relleno.....	VI-10
2.4.3 Hormigón.....	VI-11
2.4.4 Acero de Enfierradura.....	VI-12
2.4.5 Suministro de Vigas Pretensadas y Pilotes de Hormigón por Rotación.....	VI-12
2.4.6 Hincamiento de Pilotes.....	VI-13
2.4.7 Pretensado.....	VI-13
2.4.8 Manejo y Lanzamiento.....	VI-13



## **DIVISIÓN VI ESTIMACIÓN DE COSTOS EN LA CONSTRUCCIÓN DEL PUENTE**

### **CAPÍTULO I GENERALIDADES**

Este manual se ha preparado para asistir a los ingenieros en el entendimiento del procedimiento de construcción de puentes estándar.

El plan de construcción presenta principalmente una práctica y problemas corrientes en el método de construcción de un puente, relacionado con los costos estimados. Sin embargo, los materiales y la mano de obra estipulados en las especificaciones no están descritas en este manual. También, se hará referencia a los siguientes manuales o guías para el manejo de la obra y el control de calidad.

- Forma del contrato estándar para la construcción.
- Especificaciones generales.
- Inspección y ensayo de las obras del puente.

Los costos del puente, aunque éstos sean del mismo en tamaño, varían dependiendo de la condición del terreno, el medio ambiente, el método de construcción y la ubicación del emplazamiento. La exactitud de cualquier costo estimado, dependerá de la cantidad de información conocida acerca del proyecto. Este costo estimado presenta un método y procedimiento fundamental que es universalmente aplicable.

## CAPÍTULO 2 ESTIMACIÓN DE COSTOS

### 2.1 Objetivo de la Estimación de Costos

El propósito de la estimación de costos es determinar un pronóstico de costo necesario para completar un proyecto de acuerdo con las especificaciones y el plan de construcción preliminar. Existen muchas variantes y factores que pueden influir en los costos de construcción, tal como la geología, topografía, medio ambiente, mano de obra y dificultades de construcción. Los costos de construcción deberán ser estimados de acuerdo a las condiciones del lugar, el plan de construcción y el tiempo de construcción, que fue clarificado en el plan y en la etapa de diseño.

El costo estimado será razonablemente suficiente para permitirle al contratista completar el proyecto con una razonable ganancia, aunque bastante baja para estar incluida en el presupuesto del gobierno.

Debido a que la estimación de la construcción es preparada antes que el proyecto se construya, una buena estimación es aquella aproximadamente cercana al costo real. El costo verdadero de la construcción no será conocido hasta que el proyecto haya sido terminado y todos los costos hayan sido registrados.

### 2.2 Tipo de Estimación de Costos

La estimación de los costos puede ser dividida en por lo menos dos diferentes tipos, dependiendo en el propósito como estimación aproximada (estimación preliminar) y estimación detallada.

Tempranamente en un proyecto, previo al diseño, el gobierno puede desear saber el costo aproximado de un proyecto. En la etapa detallada del diseño, los consultores estimaran el costo en detalle en orden a finalizar el diseño de modo de cumplir con el presupuesto del gobierno. El contratista debe saber los costos requeridos para realizar las obras, de acuerdo con los documentos del contrato final.

#### 2.2.1 Estimación de Costos Aproximada

El costo aproximado se puede estimar de acuerdo con la estadística del precio del contrato de proyectos similares. Se puede estimar multiplicando el número de metros cuadrados de la superficie de la superestructura de un puente, y el volumen de hormigón para la infraestructura excluyendo los pilotes.

El costo unitario que se obtiene, de acuerdo a la importancia de los datos, resalta el valor medio, aunque también considera los valores máximos y mínimos como lo muestra en la siguiente ecuación.

$$CU = (A + 4B + C) / 6$$

Donde; CU: Costo unitario propuesto por m<sup>2</sup>  
A : Costo unitario mínimo del puente anterior  
B : Costo unitario medio del puente anterior  
C : Costo unitario máximo del puente anterior

Es necesario ajustar la información del costo del puente anterior terminado, tal como el año de construcción, ubicación y tamaño del puente.

El ajuste deberá tener presente la inflación relativa o deflación de costos con respecto al año de construcción, y los costos relativos de los materiales, equipos, y mano de obra con respecto a la ubicación geográfica del puente en construcción. Aunque el costo total de construcción del puente aumentará con el tamaño del puente, sin embargo, el costo unitario por metro cuadrado de superficie del puente puede disminuir.

$$\text{Costo propuesto} = \text{Costo previo} \times f_y \times f_l \times f_s \times f_c$$

Donde;

- $f_y$  : Factor de ajuste del año de construcción
- $f_l$  : Factor de ajuste de la ubicación
- $f_s$  : Factor de ajuste del tamaño del puente tal como la longitud de la luz y el número de luces.
- $f_c$  : Factor de ajuste de la dificultad de construcción

### 2.2.2 Estimación de Costos Detallada

Una estimación detallada es preparada mediante la determinación del costo de los materiales, mano de obra, equipos, subcontratos de trabajo, gastos generales, ganancias y algunas contingencias. El proceso de estimar comienza con la revisión completa del documento de contrato - requerimientos de contrato, planos y especificaciones técnicas. Es necesario visitar el proyecto en terreno para clarificar los factores que pueden influir en los costos de construcción, tal como las condiciones del lugar, control del tránsito, seguridad, y existencia de servicios subterráneos.

Hay dos tareas distintas en la estimación; determinar el costo real probable y determinar el tiempo real probable para la construcción del proyecto. Se requiere para proporcionar las razones de producción, tamaño del personal, equipos y el tiempo estimado para realizar varios ítems individuales de trabajo para la planeación y programación del proyecto. Esta información concerniente a los costos puede cubrir una integración de la estimación y función de programación del manejo del proyecto de construcción.

El diagrama de flujo de los costos estimados y del programa de trabajo se muestra respectivamente en las Figuras 6.1 y 6.2.

### 2.3 Estructura del Costo Total del Proyecto

El costo total del proyecto se compone del costo de construcción y del costo del proyecto, tal como costo de administración, costos de ingeniería, adquisición de tierras, de compensación, y los costos por contingencias.

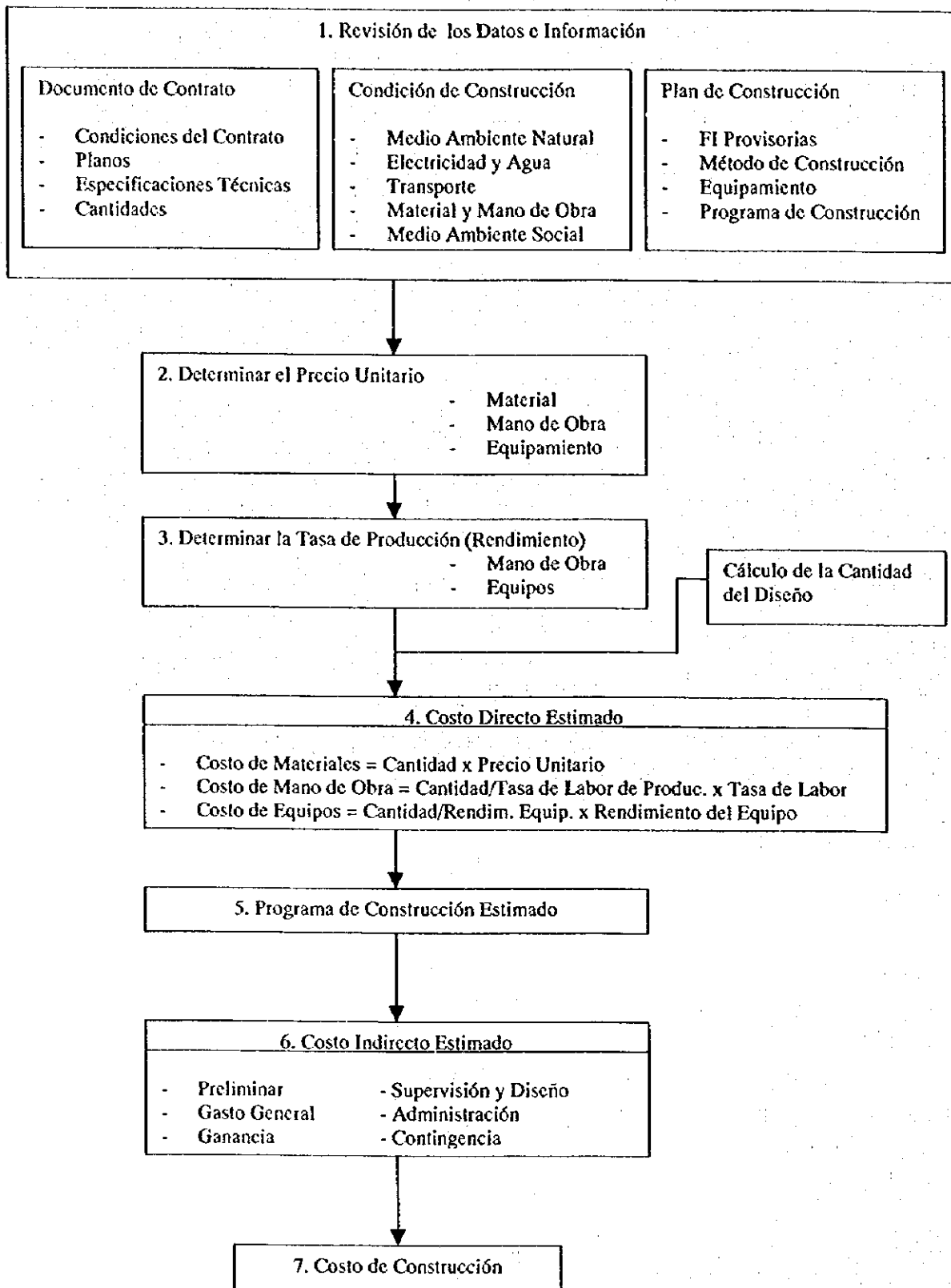


Fig. 6.1 Diagrama de Flujo de la Estimación de Costos



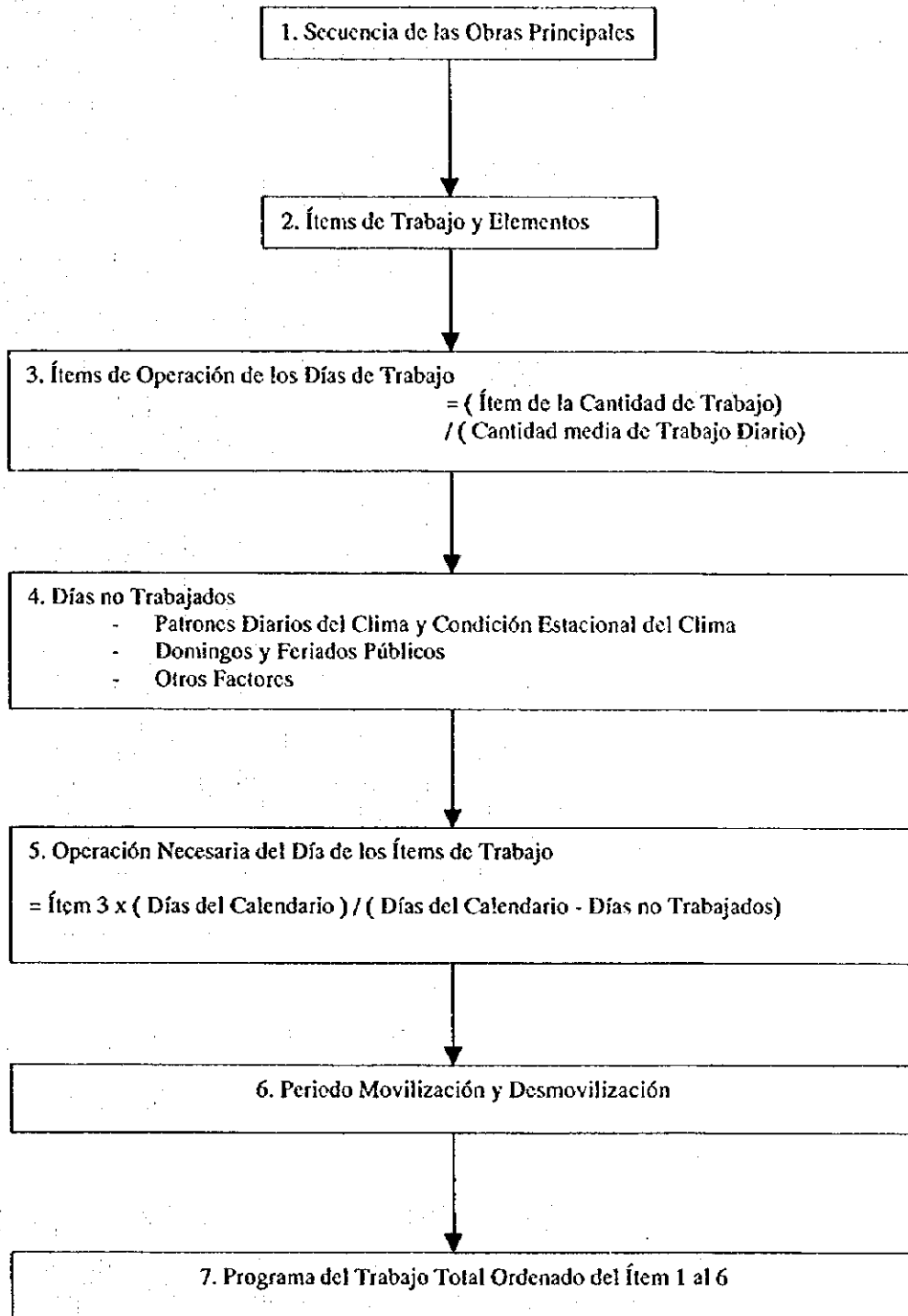


Fig. 6.2 Diagrama de Flujo del Programa de Trabajo

Los costos de construcción están subdivididos en costo directo y costo indirecto. El costo directo está compuesto por el costo de la mano de obra, costo de material y costo de los equipos. El costo indirecto comprende el costo general, costo preliminar, y gastos generales del contratista y las ganancias.

La estructura del costo total del proyecto es esbozada en la Figura 6.3.

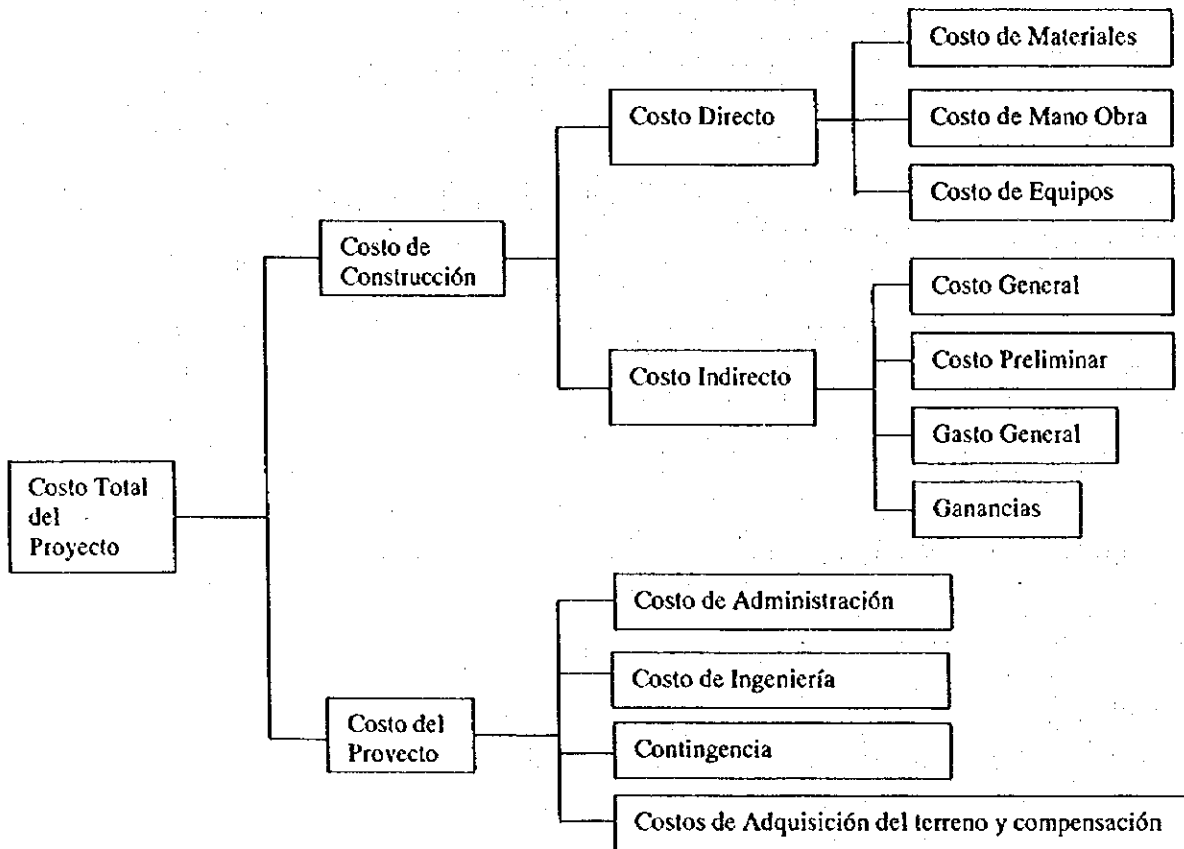


Figura 6.3 Estructura del Costo Total del Proyecto

### 2.3.1 Costo Directo

#### (1) Costo de Mano de Obra

El costo de la Mano de Obra es calculado como sigue:

$$\begin{aligned} \text{Costo de M.O.} &= (\text{Número de M.O.}) \times (\text{Razón de la M.O.}) \\ &= (\text{Cantidad del ítem trabajo}) \times (\text{rendimiento}) \times (\text{razón de la M.O.}) \end{aligned}$$

La razón de la Mano de Obra incluye los salarios, impuesto sobre la renta, seguros y todos los beneficios, tales como vacaciones, licencias por enfermedad, seguro médico y compensaciones para los trabajadores. La razón de la mano de obra es estimada sobre la base de los datos investigados de un estudio de mercado.

El rendimiento es el número de unidades de trabajo producido por una persona en un tiempo específico, usualmente una hora o un día. El rendimiento también puede especificar el tiempo en mano de obra - horas o mano de obra - días, requeridas para producir alguna unidad de trabajo.

Tales datos pueden obtenerse mediante una mantención exacta de registros de la producción de la mano de obra en proyectos durante el transcurso de la construcción.

## (2) Costo de Materiales

El costo del material se calcula como sigue:

$$\begin{aligned}\text{Costo Material} &= \text{Cantidad} \times \text{Precio unitario} \\ &= \text{Cantidad diseñada} \times (1 + \text{razón de pérdida}) \\ &\quad \times (\text{Precio unitario del material} + \text{costo de transporte})\end{aligned}$$

La cantidad de material se puede tomar de los planos, sin embargo, la pérdida de material debido al almacenaje y la construcción deberá ser considerada.

Los materiales de construcción, son entregados por el suministrador o productor directamente al lugar del proyecto en camiones, sin embargo, algunos materiales se pueden obtener mediante el contratista en el patio de almacenamiento del suministrador.

## (3) Costo de Equipamiento

Existen dos tipos de costos de equipamiento: costos de posesión y costos de operación. Los costos de posesión se refieren a los costos incurridos cuando la máquina no está trabajando. Estos incluyen la depreciación, los intereses, impuestos, seguros, mantenimiento y reparación. Los costos de operación son aquellos incurridos en la operación de la máquina. Ellos incluyen los costos para reparación, combustible, lubricantes, neumáticos, partes de consumo y sueldo del operador.

La composición del costo de equipos se muestra en la Figura 6.4.

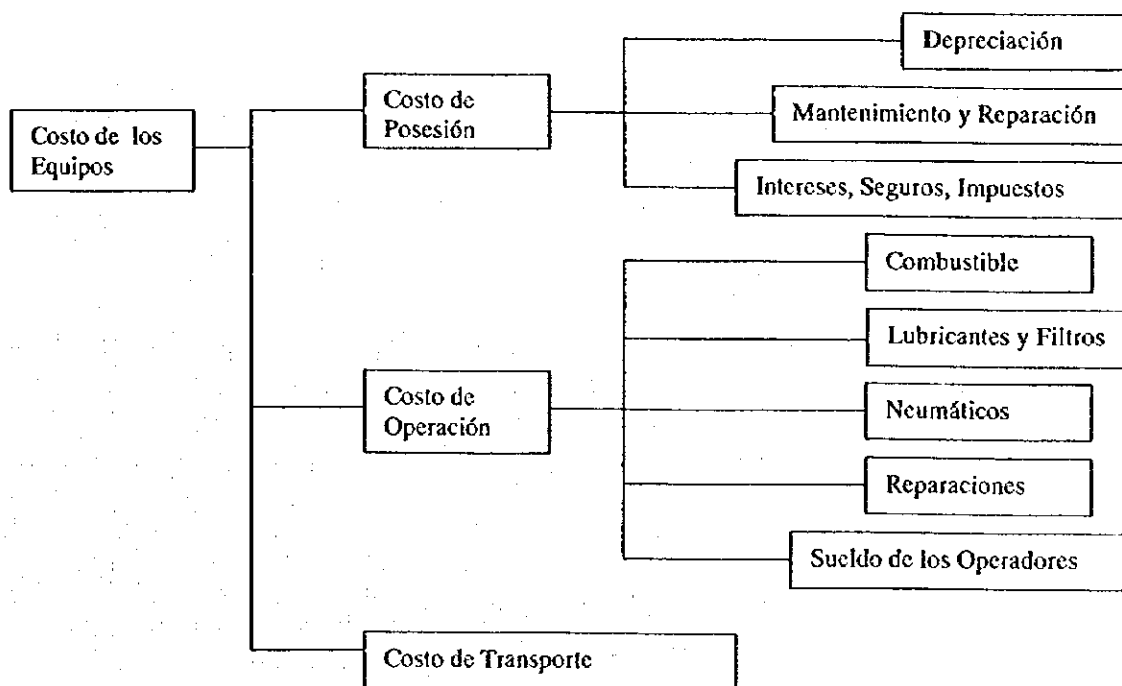


Figura 6.4 Composición del Costo de los Equipos

El costo de los equipos es calculado por unidad de costo horario (\$/hora) que es conveniente para el uso en cualquier proyecto.

(a) Depreciación

En general la depreciación es un término de impuesto, referido a la disminución en valor legalmente determinada desde el precio de compra original del equipamiento, para los períodos de depreciación desde el punto de vista económico de la vida del equipamiento.

$$\text{Depreciación} = (\text{Valor Neto de Depreciación}) / (\text{Período de Depreciación en Horas}) \\ = (\text{Precio de Compra} - \text{Valor Bruto}) / (\text{Período de Depreciación en Horas})$$

(b) Intereses, Seguro e Impuestos

Si la compra del equipo se encuentra actualmente en operación o no, su dueño debe pagar intereses, seguros e impuestos. Los intereses se refieren al interés sobre la inversión, cuando la inversión es cubierta por los fondos del mismo dueño o son intereses sobre una deuda, cuando la inversión está cubierta por una deuda. En cada caso, el monto del interés será el mismo.

Los cálculos hechos del valor medio del valor residual en el comienzo de cada año dentro del período de depreciación, e intereses, seguro e impuestos son sobrecargados a este valor. Dividiendo este valor por el número de horas y las expectativas para operar la máquina en un año, el valor horario puede ser calculado.

Esto puede ser calculado por el uso de la siguiente fórmula:

$$\text{Interés, Seguro, Impuesto} = (\text{Factor} \times \text{Precio de entrega} \times \text{Tasas Anuales}) \\ / (\text{Uso anual en horas})$$

El factor se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$\text{Factor} = 1 - \{ (n - 1)(1 - r) \} / 2n$$

Donde;  $n$  : Período de depreciación en el año  
 $r$  : Tasa de valor bruto  
 $= (\text{Valor de la Máquina en parte de pago o precio de reventa}) \\ / (\text{Precio de entrega})$

(c) Revisión del Costo de los Equipos

El costo horario de propiedad y el de operación de los equipos de construcción, variarán con la condición de dónde se opera el equipo. Si los bulldozers son ocupados sobre superficie rocosa será más caro que si los mismos bulldozers son ocupados en una superficie de suelo normal. Por lo tanto, los costos del equipo serán ajustados de acuerdo a la condición del lugar donde los equipos serán utilizados.

### 2.3.2 Costo Indirecto

#### (1) Costo General

Los costos generales incluyen los siguientes ítems, los cuales dependen de la condición del lugar y de los requerimientos de construcción:

- Construcción de un puente y camino provisorio para el público
- Demolición del puente existente
- Reubicación de los servicios públicos existentes
- Desviación temporal del curso del río

#### (2) Costo Preliminar

Los costos preliminares incluyen los siguientes ítems, los que toman del 10 a un 15% del costo directo dependiendo del período del proyecto y de la cantidad del contrato.

- Ubicación de oficinas y laboratorio
- Agua potable
- Inspección
- Equipos de laboratorio
- Facilidades para el suministro de electricidad y agua
- Medidas de seguridad
- Transporte
- Ingeniería

Los costos preliminares de un puente prefabricado son;

- Puente pretensado : ( Costo Directo - Costo de Fabricación ) x ( 10 a 15% )
- Puente post-tensado : Costo Directo x ( 10 a 15% )

#### (3) Gastos generales y Ganancias

Los costos de gastos generales se dividen en dos categorías : gasto general de trabajo y gasto general.

El gasto general de trabajo puede ser específicamente cargado al proyecto y el gasto general puede ser cargado a la oficina general de la compañía.

##### Gasto general de Trabajo

- Salarios del equipo de apoyo al proyecto
- Lugar de la oficina de suministros
- Comunicación
- Renta
- Gastos de viajes y concesiones
- Seguros e impuestos

##### Gasto general

- Salarios
- Oficina de suministros
- Oficina de renta
- Bienestar
- Gastos de viajes y concesiones
- Seguro e impuesto

La cantidad de ganancias depende del riesgo, deseo del contratista de trabajar y de otros factores.

El actual monto de gastos generales y ganancias pueden ser clasificados entre un 20 a 30% del costo directo dependiendo del riesgo involucrado deseo del contratista de trabajar y otros.

### **2.2.3 Costo del Proyecto**

#### **(1) Costo de Administración**

El costo de administración es un gasto del gobierno que surge de la implementación del costo del proyecto, y se asume como el 3% del costo de construcción.

#### **(2) Costo de Ingeniería**

El costo de ingeniería consiste en el diseño detallado (Inspección geológica y topográfica, y el diseño detallado) y la supervisión de la construcción que toma desde un 5 a un 10% (por ejemplo 2% del diseño detallado y 6% para supervisión) del costo de construcción.

#### **(3) Contingencias**

La contingencia está dividida dentro de la contingencia física y contingencia de precio como se describe a continuación:

- La contingencia física es principalmente cubre materias imprevisibles o inevitables durante la construcción, tal como la adquisición temporal de terreno y algunas variaciones. La contingencia se considera usualmente en un 5 a 10% del costo de construcción.
- La contingencia de precio permite el alza del precio futuro y la fluctuación del cambio de tasa.

#### **(4) Adquisición del terreno y costo de compensación**

Se requiere de un monto considerable para la adquisición de terrenos y para los costos de compensación debido a la construcción de un puente nuevo.

## **2.4 Clasificación de las Obras más Importantes**

### **2.4.1 Limpieza y Escarpe**

Previo al comienzo de las operaciones de excavación, todos los objetos superficiales y todos los árboles, restos vegetales, raíces y otros obstáculos serán sacados del terreno. Este trabajo será hecho por bulldozers. Las mediciones serán por área básica (hectáreas) o cifra global básica o individual de la remoción de árboles (cada uno).

### **2.4.2 Estructura de la Excavación y Relleno**

Esta obra consiste en la excavación necesaria para las fundaciones de la infraestructura y en la ubicación del relleno con un material granular de drenaje en el área excavada alrededor de la estructura.

Esta obra puede incluir necesariamente la desviación del flujo de agua, baldeo, entubado, drenaje y la construcción necesaria de ataguías, con la totalidad del revestimiento de la zanja y los arriostramientos involucrados.

Toda roca u otro material duro de fundación debería estar libre de todo material suelto o cortado para tener así una superficie firme, ya sea nivelada o escalonada. Las piedras aisladas, tal como bolones o roca molida se proveerán para el uso de las fundaciones

### (1) Operación de Excavación y Relleno

Las operaciones de esta obra son las siguientes:

Operación	Equipamiento
Excavación	Capacidad de la pala mecánica (0.35 a 0.6m <sup>3</sup> ) Bulldozer (15 tons)
Relleno	Capacidad de la pala mecánica (0.35 a 0.6m <sup>3</sup> )
Compactación	Bulldozer (15 tons) Rodillo de vibración (0.8 a 1.1 tons) Compactador (60 a 100 kg)
Transporte	Camión Tolva (11 tons)

### (2) Obras Provisorias

	Operación	Material	Equipamiento
Atagüía	Perforación Remoción Drenaje	Placa o tablestaca de Madera o tablestaca de acero o pilote de sección H	Martinete Diesel Camión grúa (20 a 22 tons) Martinete de vibración (30 a 40 kW) Bomba
Desviación del flujo de agua	Construcción de diques o canales de desviación		Bulldozer Pala mecánica

### 2.4.3 Hormigón

Este trabajo consiste en la construcción de una parte de la estructura por cemento Portland concentrado, la cual es una mezcla de cemento, agua, aditivos, y agregados gruesos y finos, que pueden incluirse en obras provisionarias.

#### (1) Uso del Hormigón

El uso del hormigón se aplica en los siguientes ítems:

- Vigas armadas de hormigón post-tensado
- Vigas transversales
- Losas prefabricadas
- Estribos y cepas
- Solera y antepecho
- Losas de aproximación
- Nivelación de hormigón

## (2) Operación de la Obra de hormigón

Operación	
- Mezcla de prueba	Planta de mezclado
- Mezcla de hormigón	
- Transporte	Camión
- Manejo	Carro, carretilla
- Colocación	Camión grúa (15 a 20 tons)
	Bombeo de hormigón
	Capacho y canaleta
- Compactación	Vibrador
- Terminación	
- Curado	

## (3) Obras Provisorias

Estas obras incluyen obra falsa, moldaje y la base para la fabricación de una viga postensada.

Ítem de Obra	Uso del Hormigón	Operación	Material	Equipamiento
Obra falsa	Estribo Cepa Puentes con losa de hormigón armado	Pilotaje o compactación Montaje Fijado Remoción	Fundación Pilote de hormigón o madera Andamiaje Marco de madera o acero o tubos de acero	Camión Grúa (15 a 16 tons)
Moldaje	Estribo Cepa Puentes con losa de hormigón armado	Fabricación Montaje Fijado Remoción	Encofrado de madera laminada o acero o aluminio Tirante de molde Desmoldante	Camión Grúa (15 a 16 tons)
Base para la fabricación de una viga	Viga Postensada	Compactación	Hormigón o madera Áridos	

### 2.4.4 Acero de Enfierradura

Esta obra consiste en el suministro, fabricación (cortes doblados), empalmes, y colocación (montaje, fijación) de las barras de acero para armadura del tipo y tamaño conforme a los planos. Los alambres para ataduras, los separadores y otros materiales usados en la fijación de las barras de acero para armadura se incluyen en esta obra.

### 2.4.5 Suministro de Vigas Pretensadas y Pilotes de Hormigón por Rotación

Las vigas pretensadas y los pilotes de hormigón por rotación son fabricados y suministrados por el fabricante. El costo dependerá del tipo, longitud y número de la compra, y de la distancia desde el patio de fabricación del suministrador hasta el lugar de las obras. El costo estimado y otra información serán obtenidos de la fábrica del suministrador.



#### 2.4.6 Hincamiento de Pilotes

La obra puede consistir en pilotes de hormigón hincados por rotación, corte y empalme, y ensayos de carga. La operación de la obra es como sigue:

Ítem de Trabajo	Operación	Equipamiento
Hincado de Pilotes	Manejo Método de Hincado - Percusión - Vibración - Excavación Ajuste Descabezar o cortar	Máquina de hincamiento sobre orugas Camión grúa Martinete de vibración Máquina perforadora de tierra
Ensayo de carga	Ensayo de la carga de Mantenimiento (CM) o ensayo de la tasa constante de penetración (TCP)	Gato hidráulico Viga de acero de sección I Balsa de madera Bloque de Enjunque

#### 2.4.7 Pretensado

Esta obra consistirá del suministro, colocación y tensado de acero pretensado, e inyección de la lechada de cemento para las vigas de hormigón pretensado.

La operación del pretensado y la inyección de lechada se muestra a continuación:

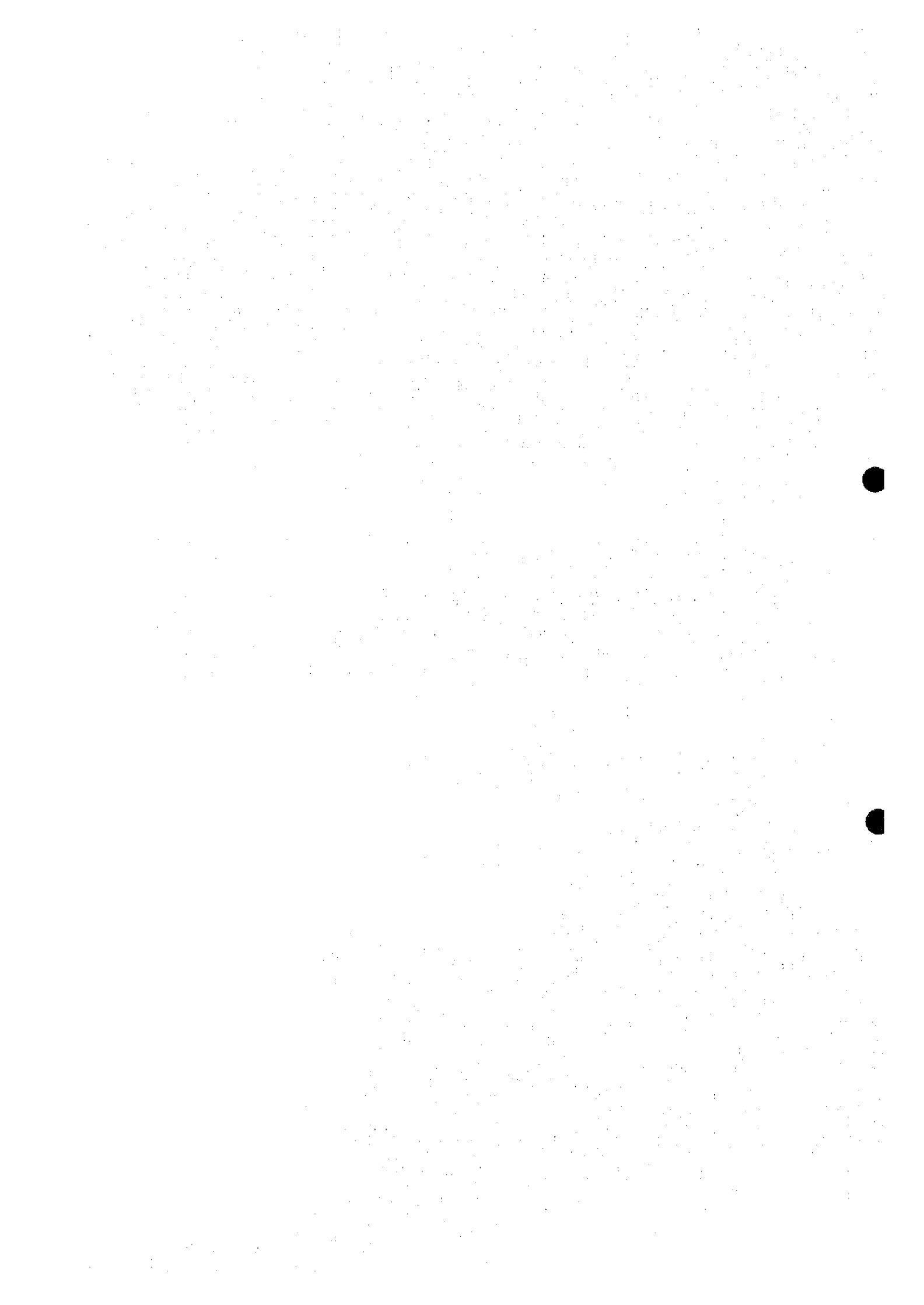
Ítem de Trabajo	Operación	Material	Equipamiento
Pretensado	Ubicación de los ductos Ubicación de los torones compuestos de alambres Pretensado	Ducto Torón compuesto de alambres Anclajes Soportes del ducto Malla	Cortador para los torones Gato de tensión Bomba de tensado
Inyección de lechada	Mezcla de la lechada Inyección de la lechada	Cemento Aditivos	Mezclador de la lechada Bomba de inyección

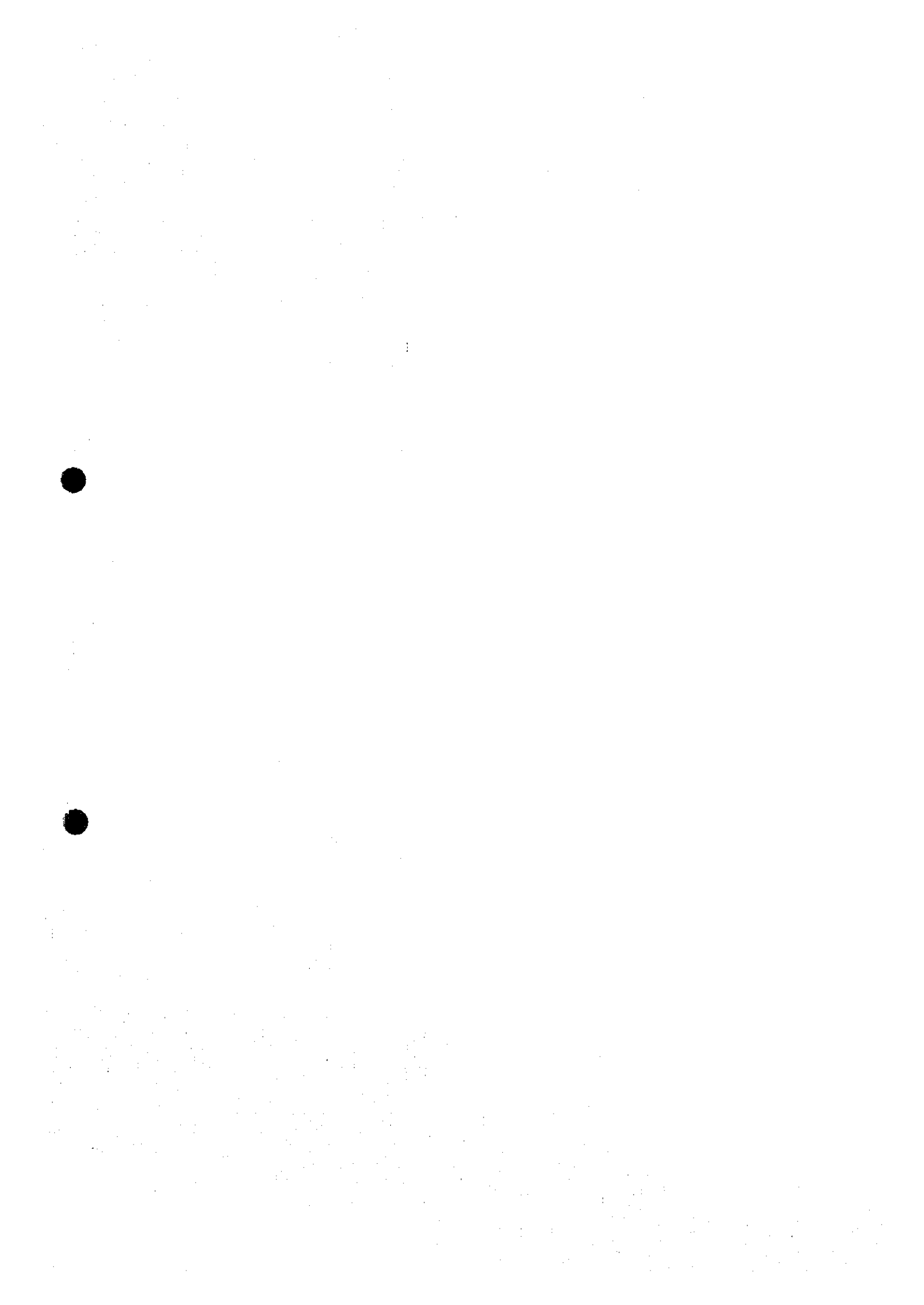
#### 2.4.8 Manejo y Lanzamiento

Este trabajo incluye el levantamiento, manejo, transporte, lanzamiento y ubicación en la posición de vigas pretensadas y post-tensadas.

La Operación de la obra es como sigue:

Ítem de Trabajo	Operación	Equipamiento
Manejo	Levantamiento Transporte	Camión grúa Puente grúa Gato Riel Cargador Huincha
Lanzamiento	Lanzamiento Desplazamiento Ubicación	Camión grúa Lanzamiento de las vigas de acero Puente grúa Pórtico y riel





JICA