

Capítulo 4 Descripción de la estructura

4.1 Localización

El puente está ubicado en el cruce entre el pueblo de Santa Marta y Nosara, pertenecientes al distrito de Nosara, Cantón de Nicoya, Guanacaste. Se encuentra sobre la Ruta 160, la cual recorre gran parte del litoral de la Península de Nicoya, desde Playa Naranjo hasta la ciudad de Santa Cruz, y no tiene redundancias en el sistema vial a partir de Playa Sámara y hasta su entronque con la Ruta 21.

4.2 Generalidades

El puente está construido completamente en concreto y posee dos tramos simplemente apoyados: un claro de 35 m con dos vigas de concreto postensado y el otro de 12.65 m, con canaletas de concreto pretensado. La longitud total del puente es de 48.1 m, medida centro a centro de apoyos en los bastiones. Actualmente el puente opera con un carril, pero su estructura está prevista para una futura ampliación a un carril más.

Ambos bastiones son de tipo asiento, como se muestra en la figura 4.1. Los bastiones transmiten la carga a la fundación por medio de dos columnas de 6,16 m de longitud y de sección variable, las cuales llegan a placas aisladas rectangulares. El terreno alrededor de los bastiones se estabilizó con un talud de $1\frac{1}{2} : 1$, el cual a su vez está cubierto con una escollera de piedra ligada con mortero. La pila central es del tipo cabeza de martillo con voladizos de 2.95 m, previstos para la ampliación del puente a dos carriles y está cimentada en una placa aislada rectangular.

4.3 Especificaciones

4.3.1 Diseño y Construcción

El diseño del puente se realizó con base en las *Especificaciones Estándar para Puentes de Carreteras AASHTO* de 1983, según está referido en los planos constructivos. La carga viva utilizada corresponde al vehículo de diseño tipo HS 20-44.

Las normas para el proceso constructivo se siguieron de las *Especificaciones para la Construcción de Caminos Carreteras y Puentes CR-77*.

4.3.2 Materiales

4.3.2.1 Concreto

Se utilizó concreto clase "A" vibrado, con resistencia mínima $f_c = 225 \text{ kg/cm}^2$, excepto en las vigas de la superestructura, donde se utilizó clase "D" vibrado y resistencia mínima $f_c = 350 \text{ kg/cm}^2$. La postensión se estableció para un $f_{cr} = 325 \text{ kg/cm}^2$.

4.3.2.2 Acero de refuerzo

Se especificaron varillas deformadas grado 60 ($f_v = 4200 \text{ kg/cm}^2$) de acero de lingote (Billet Steel) de acuerdo con las designaciones AASHTO M31 (ASTM A 615). Se usó un recubrimiento mínimo de 5 cm, excepto en los siguientes casos:

- parte superior de las losas y aceras (4 cm)
- parte inferior de las losas (3 cm)
- cimientos (8 cm)

Los empalmes llevan un traslape de 36 diámetros, excepto en las varillas horizontales con más de 30 cm de concreto bajo ellas, donde debía usarse un traslape equivalente a 50 diámetros. Respecto al acero de postensión, se especificó como "High tensile steel strength steel wire", según requerimientos AASHTO M204 (ASTM A 421) o "High tensile strength seven-wire strand", según requerimientos AASHTO (ASTM A 416).

4.4 Descripción de la superestructura

La superestructura es el conjunto de componentes estructurales y elementos constituyentes de un puente que se encuentran sobre los soportes. Como se indicó en la sección 4.2, la superestructura del puente sobre el Río Nosara está compuesta por elementos simplemente apoyados en dos tramos, para una longitud total medida centro a centro de apoyos de 48.1 m.

4.4.1 Tramo de vigas de concreto postensado

El tramo más largo (lado oeste) tiene una longitud total centro a centro de apoyos de 35.0 m. Esta constituido por dos vigas de concreto postensado tipo V estándar de AASHTO con un peralte de 160 cm, las cuales se muestran en la figura 4.2.

Las vigas trabajan en sección compuesta con una losa de concreto reforzado de resistencia $f_c' = 225 \text{ kg/cm}^2$ y espesor de 18 cm. Las barreras de protección de concreto (ver fig. 4.3) aportan un peso adicional de 0.94 Ton/m a todo lo largo de la superestructura. La losa no ofrece continuidad estructural sobre el apoyo central.

Las características básicas de estas vigas postensadas son:

- Cada una tiene un peso aproximado de 60.3 Ton.

- El concreto utilizado para estas vigas se especificó para una resistencia inicial mínima $f_{ci} = 325 \text{ kg/cm}^2$ y una resistencia $f_c = 350 \text{ kg/cm}^2$. El acero de postensión se estipuló como alambre según ASTM A421, con resistencia última $f_{pu} = 16520 \text{ kg/cm}^2$.
- El diseño establece una fuerza de postensión de 565 Ton en línea de centro de viga después de ocurridas todas las pérdidas en el acero de postensión debidas a retracción del concreto, flujo plástico y relajación del acero, las cuales se estimaron en 1750 kg/cm^2 .
- El cable de postensión sigue una curva parabólica, con una cota en línea de centro de viga de 15 cm, y una cota mínima en los extremos de 58 cm, medidos a 25 cm de la cara de la viga.
- Las vigas están arriostradas transversalmente por tres diafragmas de concreto, ubicados en el punto medio del claro y en los extremos. Inicialmente en el diseño estaban contemplados dos diafragmas en los extremos y dos en los tercios medios del claro. Según la norma AASHTO 9.10.2 (ref. 4.1), para claros de vigas T de concreto presforzado mayores a 12.2 m, como mínimo se deben colocar diafragmas en los extremos y en los puntos de máximo momento, que en este caso sería a la mitad del claro, por su condición de simplemente apoyada. En la figura 4.4 se observa el diafragma en el punto medio del claro.

4.4.2 Tramo de vigas tipo canaleta

Este tramo tiene una longitud de centro a centro de apoyos de 12,65 m. Está formado por cuatro vigas tipo canaleta de concreto pretensado con un peralte de 69 cm (ver fig. 4.5), unidas entre sí por juntas de concreto reforzado que les dan continuidad, para un ancho total del claro de 4,30 m, sin tomar en cuenta las barandas que sobresalen 30 cm a cada lado.

Las características generales de la viga canaleta utilizada se resumen a continuación

- Concreto de resistencia $f_c' = 350 \text{ kg/cm}^2$
- Peso aproximado de 7,0 Ton.
- Refuerzo principal constituido por ocho torones de 12,7 mm de diámetro de grado 270, según la norma ASTM A416.
- Refuerzo transversal formado por 6 ganchos (U invertida) de varilla #3, separados 12 cm en los extremos, y en el resto de la viga con una separación de 30 cm.

El arrioste lateral lo proveen tres diafragmas de concreto reforzado, colocados en los extremos y en el punto medio del claro.

4.5 Descripción de la subestructura

La subestructura de un puente constituye el conjunto de elementos estructurales que le dan soporte a la superestructura y transmiten las cargas a las fundaciones. Está formada por los bastiones o estribos y las pilas.

4.5.1 Bastiones

El puente sobre el Río Nosara posee dos bastiones idénticos y que pueden clasificarse como tipo asiento (en inglés se les conoce como *seat type*) y cuya configuración se muestra en la figura 4.1. A diferencia de los bastiones monolíticos, éstos permiten desplazamientos y rotaciones independientes a la superestructura, eliminando redundancia al sistema, lo cual no siempre es favorable. Los detalles estructurales del muro frontal y los aletones se presentan en el apéndice A. En la figura 4.6 se observan las características del tipo de bastión utilizado en el puente Nosara.

Estos bastiones están conectados a las placas de fundación por dos columnas de concreto reforzado de 6.16 m de altura, y con una sección variable que va desde 80 cm x 90 cm hasta 180 cm x 90 cm. Cada una de estas columnas llega a sendas placas aisladas rectangulares de 4 m x 2.70 m en el bastión del claro más corto, y 5 m x 3.40 m en el otro. Ambos tipos de placa tienen un espesor de 0,90 m.

No existe muro de retención entre las dos columnas, debido a que el terreno se estabilizó con un talud de 1^{1/2}:1, y se cubrió con una escollera de piedra ligada con mortero de 50 cm de espesor. En la figura 4.7 se muestra la escollera correspondiente al bastión que soporta las vigas tipo I postensadas, la cual ha sido sometida a una socavación severa. Este tipo de obra de protección no es muy recomendable, ya que el agua puede filtrarse por debajo de la base y empezar a lavar el material del talud, sin que el problema sea detectado. Si la socavación se vuelve muy severa, la escollera podría agrietarse por pérdida de soporte o la placa de fundación podría perder el confinamiento adecuado.

4.5.2 Pila

La pila está formada por una sola columna de concreto reforzado, la cual tiene en su extremo superior dos ménsulas sobre las cuales se apoya la superestructura, formando lo que se conoce como una pila "cabeza de martillo" (fig. 4.8 y fig. 4.9).

La sección transversal de la columna está formada por un núcleo cuadrado de 110 cm de lado y dos semicírculos de 55 cm de radio en los extremos. El detalle del refuerzo longitudinal y transversal de la columna se muestra en la figura 4.10. La longitud efectiva de la columna es de 6.80 m, mientras que las ménsulas tienen un peralte máximo de 2.20 m. Las elevaciones de los bancos de apoyo para las vigas de cada tramo difieren 1,07 m.

La fundación de la pila está constituida por una placa aislada de 5,0 m x 5,5 m, con un espesor de 0,90 m, la cual lleva como refuerzo una malla inferior de varillas # 8 a cada 18 cm, y una malla superior de # 6 a cada 30 cm.

4.6 Apoyos y conexiones

Los distintos tipos de apoyos o conexiones se proveen en un puente para permitir o restringir el movimiento relativo entre la superestructura y los diferentes componentes de la subestructura.

debido a cambios de temperatura, o bien para acomodar los desplazamientos debido a flujo plástico y contracción del concreto. A continuación se describen los tipos de conexiones presentes en ambos claros del puente sobre el Río Nosara.

4.6.1 Claro de vigas tipo I postensadas

Ambas vigas están apoyadas tanto en el bastión como en la pila, sobre almohadillas elastoméricas de neopreno de 5 cm de espesor y un área de contacto de 65 cm x 30 cm, las cuales según los planos constructivos son de dureza 50 con 5 láminas metálicas intermedias de 3 mm de espesor cada una. En la figura 4.11 se observa un acercamiento de este apoyo.

Al realizar la inspección del puente, se observó que el detalle de anclaje de las vigas a la subestructura especificado en planos (ver esquema en fig. 4.12) no se colocó durante la construcción, ni en el bastión ni en la pila. Las vigas aparentemente se encuentran simplemente apoyadas en ambos extremos sobre las almohadillas de neopreno, las cuales permiten el desplazamiento longitudinal, convirtiendo el sistema en un mecanismo. Sin embargo, aunque hay un espacio de 15 cm entre las vigas y el muro del bastión, la junta superior los pone en contacto (fig. 4.13) y esto hace que cuando el movimiento es en dirección al bastión, la rigidez del suelo y el muro actúan restringiendo el desplazamiento de la superestructura, así como en la dirección contraria lo hace el bloque superior de la pila. La longitud de apoyo para la superestructura es de 45 cm, tanto en el bastión como en la pila.

Transversalmente el claro está restringido por llaves de cortante ubicadas tanto en el bastión como en la pila. En los planos constructivos no está especificada la llave en el bastión, pues precisamente la restricción transversal la proveía el dispositivo con pernos de anclaje mostrado en la figura 4.12, el cual como se dijo no se incluyó. Ante esta situación, vale el supuesto de que la cantidad y disposición del refuerzo de acero es la misma para ambas llaves. En la figura 4.14 se observa la llave de cortante ubicada en el bastión. Se supone, por la inspección visual, que esta llave no se construyó en forma monolítica con el banco de asiento. En un elemento sometido a fuerzas cortantes tan altas, la inclusión de una junta fría puede volverlo muy vulnerable. En la figura 4.15 se esquematiza el refuerzo de acero para este componente.

4.6.2 Claro de vigas pretensadas tipo canaleta

Las cuatro vigas canaletas que forman la superestructura tienen en ambos extremos un diafragma de concreto reforzado en el cual están embebidas, dándole continuidad al apoyo. Transversalmente, estos diafragmas tienen una sección de 35 cm de ancho por 84 cm de alto. El refuerzo longitudinal lo forman 8 varillas # 5, con aros # 4 a cada 28.5 cm.

La restricción al desplazamiento horizontal de las vigas respecto al bastión la brindan 4 varillas # 6, ancladas 40 cm tanto en el bastión como en el diafragma, y que van al centro de cada canaleta. En la figura 4.16 se puede observar la junta entre la viga y el diafragma, así como una varilla # 6 prevista para la ampliación de la vía a dos carriles. En planos se especifica el uso de una placa de neopreno para el asiento de las vigas en el bastión, pero durante la inspección no se pudo apreciar claramente si se colocó. El ancho del banco de asiento es de 50

cm. En la pila, las vigas no presentan restricción longitudinal y el diafragma está simplemente apoyado en el banco de asiento de 35 cm de ancho. Transversalmente, las canaletas están restringidas por dos bloques de concreto de 20 cm de altura, y una sección en planta de 20 cm x 35 cm. En la figura 4.17 se observa el apoyo de las canaletas en la pila.

En el Apéndice A se encuentran detalles constructivos para todos los componentes principales del puente sobre el Río Nosara.

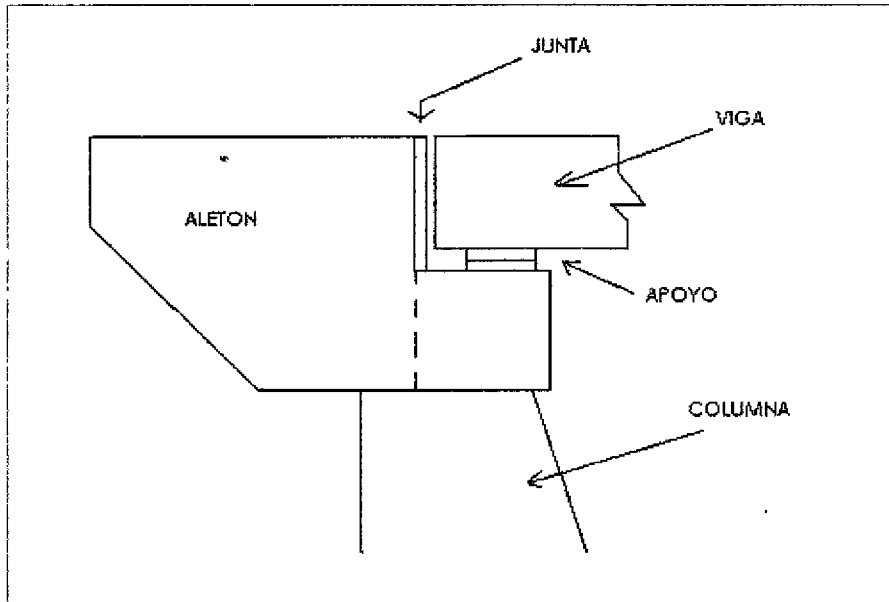


Figura 4.1 : Esquema de bastión tipo asiento.

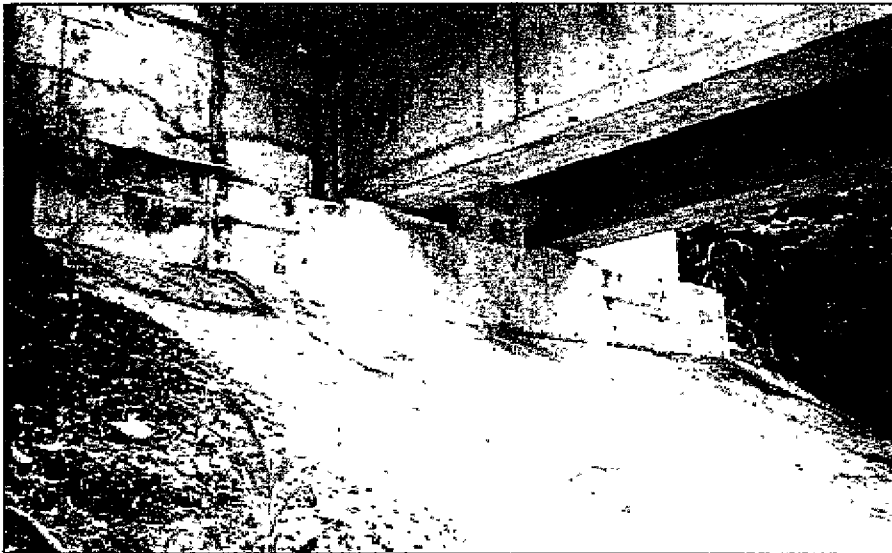


Figura 4.2 : Vista lateral de las vigas de concreto postensado y parte de la escollera que cubre el talud.

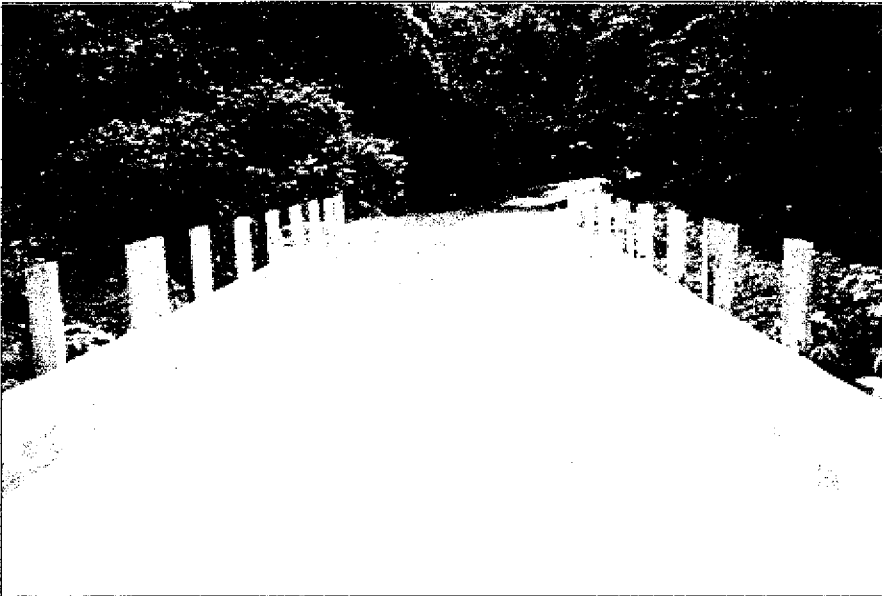


Figura 4.3 : Superficie de rodamiento del puente.

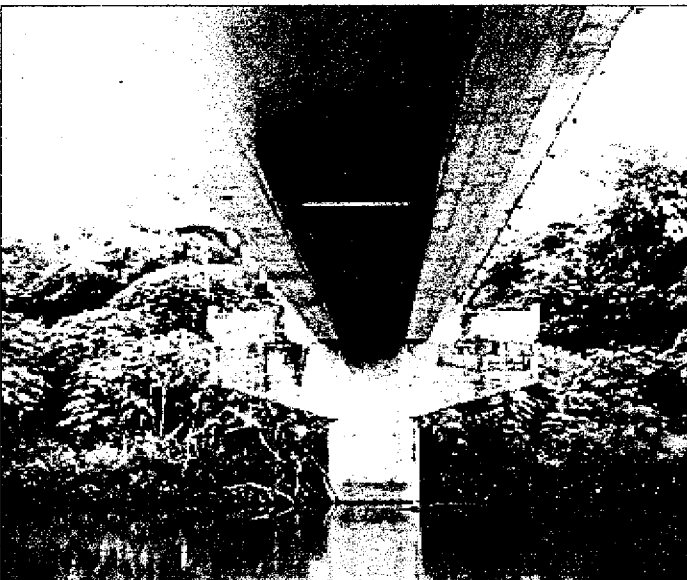


Figura 4.4 : Diafragma de concreto para arriostrar transversalmente las vigas postensadas.



Figura 4.5: Tramo formado por cuatro vigas pretensadas tipo canaleta.



Figura 4.6 : Bastión tipo asiento con muros laterales o aletones.



Figura 4.7 : Socavación severa alrededor de la escollera de mortero en el bastión de margen derecha.



Figura 4.8 : Pila tipo cabeza de martillo.

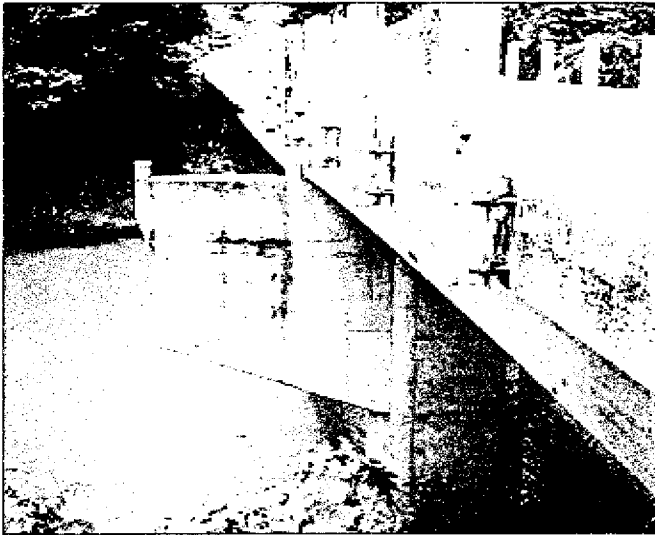


Figura 4.9 : Detalle de ménsula que sirve de apoyo a la superestructura.

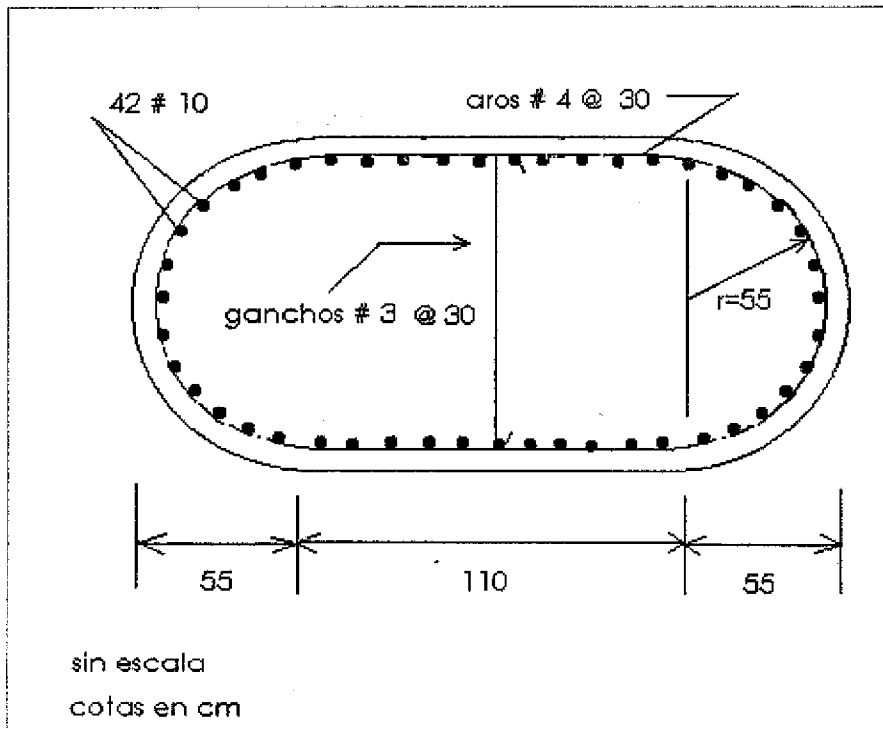


Figura 4.10 : Sección transversal de la columna.

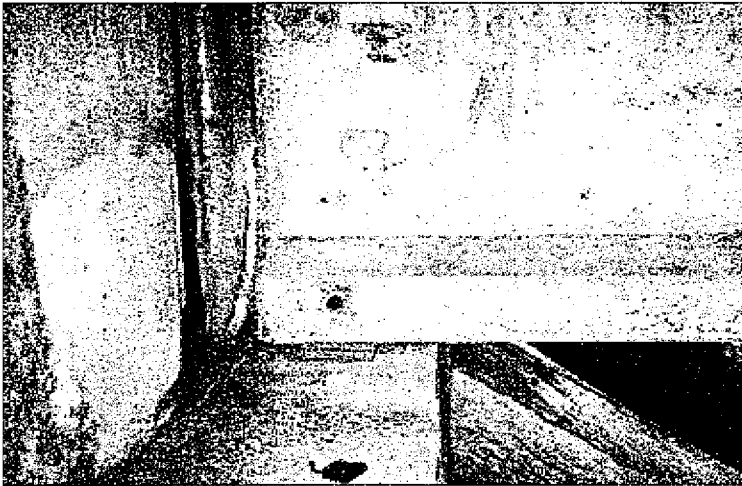


Figura 4.11 : Apoyo elastomérico de viga tipo I en bastión.

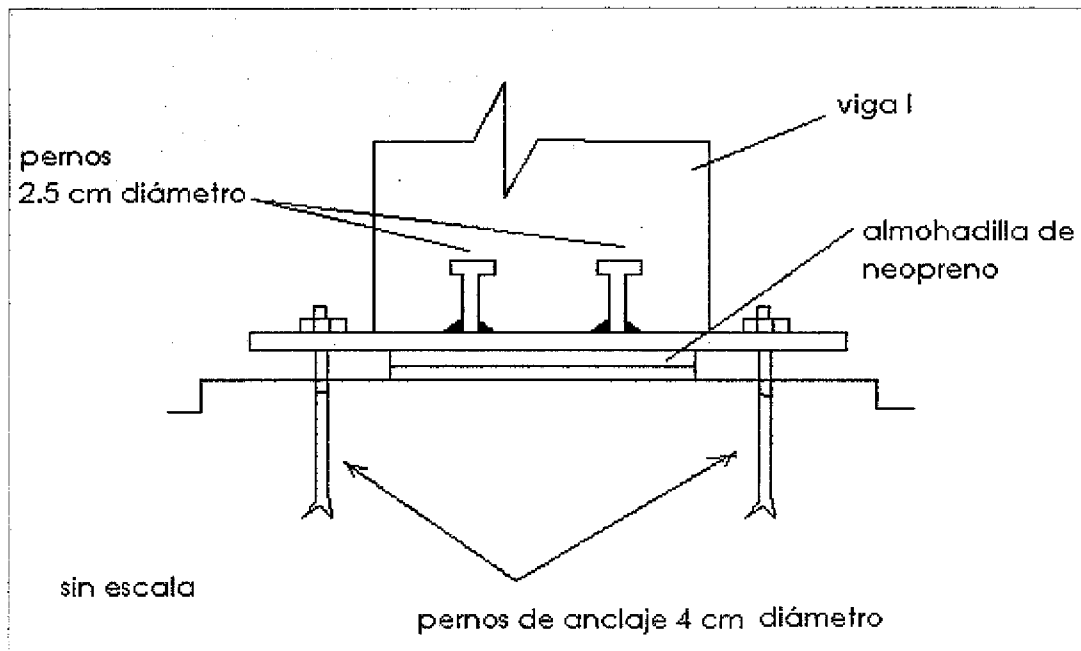


Figura 4.12 : Detalle de anclaje para viga tipo I especificado en los planos.



Figura 4.13: Detalle de la junta entre el muro del bastión y la superestructura.

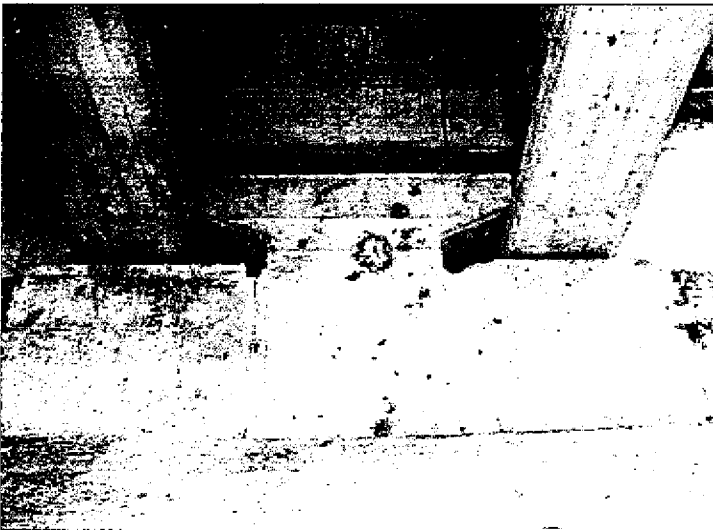


Figura 4.14 : Llave de cortante en bastión.

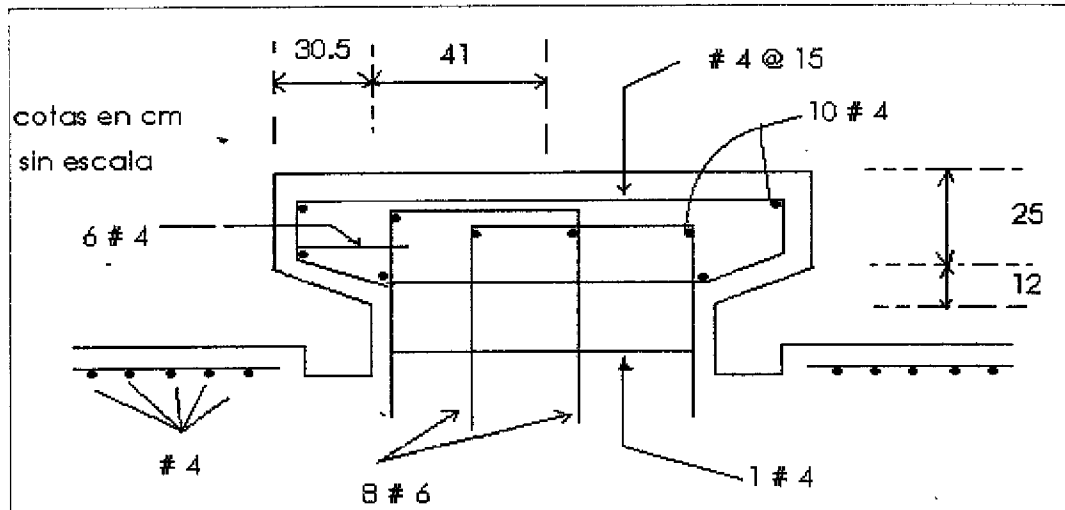


Figura 4.15 : Refuerzo de acero en la llave de cortante.

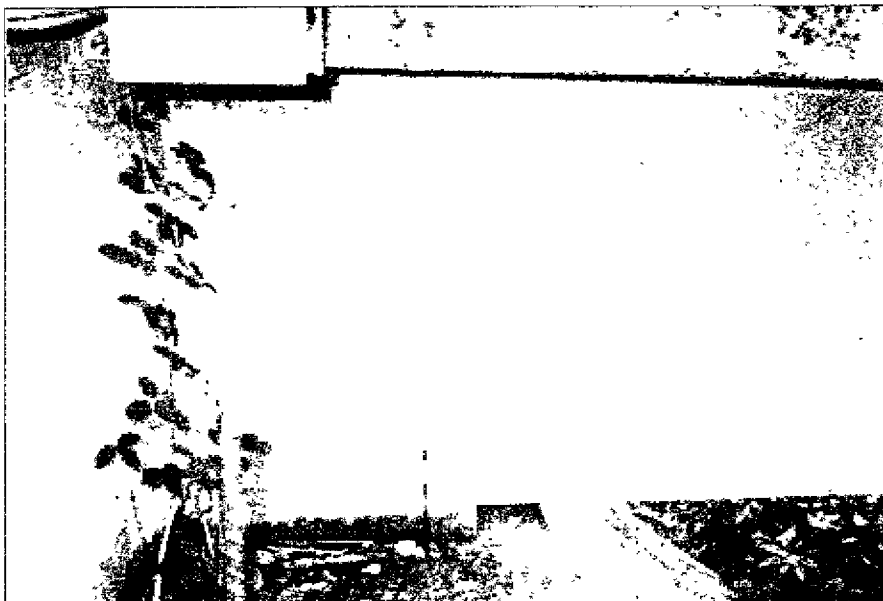


Figura 4.16 : Apoyo de vigas canaletas en bastión.



Figura 4.17 : Apoyo de las vigas canaleta en la pila.