

## **CAPÍTULO 4. REHABILITACIÓN DE LA SUPERESTRUCTURA**

### **4.1 Descripción de la rehabilitación de la superestructura.**

En este capítulo se presentan los trabajos realizados para la segunda etapa del proyecto de Rehabilitación del puente La Isla, el cual corresponde a la rehabilitación de la superestructura. Esta etapa, se ejecuta con el objetivo de aumentar la capacidad resistente del puente y mejorar las condiciones de servicio de la estructura. Para un mejor entendimiento, esta fase del proyecto es dividida en dos partes principales: el reforzamiento de la superestructura y el mantenimiento de la misma.

El reforzamiento de la superestructura se elabora tomando en cuenta que la estructura debe soportar las cargas vivas de tránsito para vehículos tipo T3-S2-R4 y HS-20 los cuales pueden transmitir cargas puntuales hasta de 14.52 Ton. En consecuencia, el reforzamiento de la superestructura incluye las siguientes actividades: reforzamiento longitudinal y a cortante de traveses tipo AASHTO, reforzamiento transversal de los tableros, cambio de apoyos de las traveses y nivelación de la superestructura en el apoyo No.3.

Por otra parte, la etapa de mantenimiento del puente pretende restablecer las condiciones de servicio de la estructura con el mejor nivel posible. Para cumplir esta meta, se realizan las siguientes actividades: cambio de juntas de dilatación, reencarpamiento de la superestructura y sus accesos, recuperación de los conos de derrame y trabajos de mantenimiento menor.

## **4.2 Reforzamiento de la superestructura.**

### **4.2.1 Reforzamiento longitudinal y a cortante de traveses tipo AASHTO.**

El reforzamiento longitudinal y a cortante de los traveses tipo AASHTO de concreto reforzado se realiza de forma pasiva colocando láminas de fibra de carbono CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer), las cuales son una combinación de fibras de carbono y una matriz de resina epóxica. Al adherir estas láminas en el patín inferior y el cuerpo del alma de los traveses de concreto reforzado, le brinda a estos elementos mayor resistencia a flexión y a cortante, aumentando la capacidad de carga de la estructura.

La colocación de las mallas de fibras de carbono inicia el 19 de Junio de 2006 en los cuatro traveses principales tipo AASHTO que conforman el tablero número 5 del puente, el cual se ubica entre las pilas No.5 y 6. Los trabajos previos a la colocación de las láminas de fibra de carbono consisten en la instalación de un sistema de andamios y en la limpieza y preparación de la superficie de los traveses donde se colocan las mallas de fibra de carbono.

La instalación de los andamios se realiza con el propósito de suministrar un área de trabajo que garantiza la correcta colocación de las fibras de carbono. Para ello, con ayuda de una grúa, se colocan bajo los tableros 4 estructuras de acero de 2 m. de ancho por 12 m. de largo que son ancladas a los parapetos de la estructura (Ver Figura 4.1).

Al concluir la instalación de los andamios, se inician los trabajos de limpieza del patín inferior y del cuerpo de los traveses, para lo cual se utiliza una pistola de agua a presión que brinda una superficie libre de todo producto que pueda entorpecer una buena adherencia entre las mallas de fibra de carbono y el concreto (Ver Figura 4.2).



**Figura 4.1 Instalación de andamios.**

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 4.2 Limpieza de traves de concreto reforzado.**

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se ejecuta la preparación de la superficie de los patines y del cuerpo del alma de las traveses, por medio de un escarificado fino con variaciones de 1 mm. Este procedimiento se realiza con cepillado general, que elimina la capa de la superficie hasta obtener un área rugosa (Ver Figura 4.3). Cuando se presentan oquedades de más e 5 mm. en la superficie, se resanan con mortero hidráulico de baja contracción (grout) elaborado con las mismas características que el concreto existente.



**Figura 4.3** Escarificado fino en patines y cuerpo de traveses.

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, con el objetivo de evitar quiebres bruscos que afecten el buen funcionamiento de las fibras de carbono, se redondean las aristas de los patines de cada trabe. Esta operación, se lleva a cabo utilizando un disco abrasivo que realiza cortes en las esquinas de los patines inferiores hasta lograr chaflanes de 2 cm. (Ver Figura 4.4).



**Figura 4.4 Chaflanes en patines.**

Fuente: Elaboración propia.

De esta manera, se procede a la colocación de las láminas de fibra de carbono en sentido longitudinal para realizar el reforzamiento a flexión de las trabes tipo ASSHTO de concreto reforzado. Este procedimiento se realiza colocando tres capas de fibras de carbono a lo largo del elemento. Para ello, primero se habilitan tiras de fibras de carbono de 30 cm. de ancho (Ver Figura 4.5).

Una vez habilitadas las láminas de fibra de carbono, se elabora la resina epóxica que sirve como adhesivo para la colocación de las mallas. La resina está compuesta por dos sustancias que deben mezclarse íntegramente, lo cual se efectúa de forma mecánica utilizando un látigo helicoidal montado en un taladro (Ver Figura 4.6). La resina está lista cuando el tono de los dos productos mezclados tenga una consistencia uniforme.



**Figura 4.5** Habilitado de láminas de fibra de carbono.

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 4.6** Elaboración de resina epóxica.

Fuente: Elaboración propia.

En seguida, se aplica la primera capa de resina, llamada capa de encolado. Esto se realiza con ayuda de un rodillo, hasta lograr que la resina penetre lo mejor posible en las irregularidades del patín, y de esta manera obtener una buena impregnación superficial (Ver Figura 4.7). Esta capa de encolado, se aplica a razón de  $700 \text{ gr/m}^2 \pm 50 \text{ gr.}$  en toda la superficie a cubrir por la fibra de carbono, que antes debe ser delimitada según lo indicado en el plano No.12 Reforzamiento de Trabes, el cual se localiza en el apéndice B.



**Figura 4.7 Aplicación de resina epóxica.**

Fuente: Elaboración propia.

Inmediatamente, se coloca la primera capa de las bandas de fibra de carbono sobre la resina todavía húmeda. Esta operación se realiza colocando desde una extremidad de la banda hacia la otra por aplacado del reverso de la mano (Ver Figura 4.8). Además, se tiene un especial cuidado en que las bandas se coloquen sin pliegues y sin estiramientos excesivos a lo largo del patín de las trabes y se verifica que los bordes exteriores de la

banda sean colocados paralelamente a la trayectoria antes marcada. También, para garantizar la adhesión de la bandas con la resina epóxica, se realiza un reafirmado con ayuda de un rodillo dotado de una protección de polietileno, lo cual permite la impregnación de la resina en la fibra y elimina la burbujas eventualmente formadas durante su colocación.



**Figura 4.8 Colocación longitudinal de bandas de fibra de carbono.**

Fuente: Elaboración propia.

De esta forma, se colocan las dos primeras capas de fibra de carbono, abarcando de manera uniforme tanto la base del patín de las traveses como sus costados. La tercera capa de fibra de carbono se coloca únicamente en la base de los patines de las traveses de concreto reforzado. Las bandas de fibra de carbono se colocan según las dimensiones y ubicación especificadas en los planos correspondientes<sup>21</sup>.

---

<sup>21</sup> Ver plano No.12 Reforzamiento de Traveses, localizado en el apéndice B.

Finalmente, se aplica una segunda capa de resina epóxica, llamada capa de cierre, la cual permite la impregnación del tejido y garantiza la adherencia de las bandas al concreto existente. Esta capa se aplica con ayuda de una espátula en el sentido longitudinal de las fibras de carbono sin exceso de presión. Además, se debe cuidar que este recubrimiento no se coloque si la primera capa de resina ha endurecido.

Así, se lleva a cabo el reforzamiento longitudinal de las traveses tipo ASSHTO de concreto reforzado, siguiendo el procedimiento antes descrito para cada una de estos elementos (Ver Figura 4.9). Esta medida, brinda a las traveses principales mayor resistencia a esfuerzos por flexión, y como resultado, ofrece mayor capacidad de carga a toda la estructura.



**Figura 4.9 Reforzamiento longitudinal de traveses tipo ASSHTO.**

Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, el reforzamiento a cortante de las trabes principales se efectúa a través de la colocación de bandas de fibras de carbono que cubren el cuerpo del alma de estos elementos. Para ello, primero se realiza el habilitado de las bandas, cortando tiras de 7.5 cm. de ancho (Ver Figura 4.10).



**Figura 4.10** Habilitado de bandas de fibras de carbono 7.5 cm. de ancho.

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se marca en el cuerpo del alma de las trabes la ubicación de las bandas de fibras de carbono. Después, se elabora la mezcla de resina epóxica y se coloca la capa de encolado siguiendo las especificaciones antes mencionadas. Consecutivamente, se coloca a 45° de inclinación cada una de las bandas, siguiendo la distribución indicada en los planos de reforzamiento<sup>22</sup>. Por último, se aplica la capa de cierre de resina epóxica que permite la impregnación del tejido y garantiza la adherencia de las bandas al concreto existente (Ver Figura 4.11).

---

<sup>22</sup> Ver plano No.12 Reforzamiento de trabes.



**Figura 4.11 Colocación de reforzamiento a cortante en traves.**

Fuente: Elaboración propia.

Con la realización de estas actividades, se ejecuta el reforzamiento de manera pasiva de las traves tipo ASSHTO sin introducir esfuerzos o deformaciones a estos elementos que modifiquen su estado tensional original y otorgando a estos elementos mayor resistencia contra cargas puntuales (Ver Figura 4.12). Este procedimiento se realiza para cada una de las cuatro traves de cada tablero, reforzando longitudinalmente y a cortante las 20 traves principales del puente la Isla. (Ver Figura 4.13), iniciando en el tablero No.5 que se localiza entre las pilas No.5 y 6. Posteriormente, los trabajos se continúan en los tableros No.1 entre las pilas No.1 y 2, en el tablero No.2 entre las pilas No.2 y 3, en el tablero No.3 entre las pilas No.3 y 4. Por último, estos trabajos concluyen en el tablero No.4 entre las pilas No.4 y 5.



**Figura 4.12 Reforzamiento a cortante de traves tipo ASSHTO.**

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 4.13 Reforzamiento longitudinal y a cortante de traves principales.**

Fuente: Elaboración propia.

Cabe mencionar, que el suministro y colocación de las fibras de carbono es subcontratado por el contratista a la compañía Freyssinet, empresa francesa que fue una de las primeras en realizar este tipo de reforzamiento pasivo en nuestro país.

Por otro lado, la mano de obra utilizada para la ejecución de estos trabajos es de tan sólo 8 ayudantes, los cuales son supervisados por un técnico de la compañía Freyssinet. Esto debido a que la colocación de las fibras de carbono es muy fácil, haciendo de este tipo de reforzamiento externo una de las mejores alternativas en este campo.

No obstante, por problemas de suministro de la fibra de carbono y de la resina epóxica, estos trabajos se demoran, prolongando el término de esta actividad hasta el 7 de Diciembre de 2006. Además, es primordial establecer que la etapa de rehabilitación de la superestructura es totalmente autónoma de los trabajos de Recimentación, por tal motivo, estas labores pueden realizarse a la par de esta etapa.

Aún así, por las características de material y la facilidad de colocación de las fibras, esta solución proporciona un gran beneficio a bajo costo y garantiza una resistencia adicional a las trabes sin provocar esfuerzos adicionales en ellas. De esta manera, se aumenta la capacidad de carga del puente para poder soportar cargas puntuales de más de 14 Ton a las que esta sometida esta estructura.

#### **4.2.2 Reforzamiento transversal de Tableros.**

El reforzamiento transversal de los tableros se realiza mediante el pretensado exterior de los dos diafragmas extremos de cada tablero. Esta medida aumenta la

restricción de pandeo lateral de las vigas principales tipos AASHTO, garantizando el trabajo en conjunto y un adecuado funcionamiento a flexión. Además, el reforzamiento transversal proporciona una mayor rigidez a las traveses y a la superestructura en general.

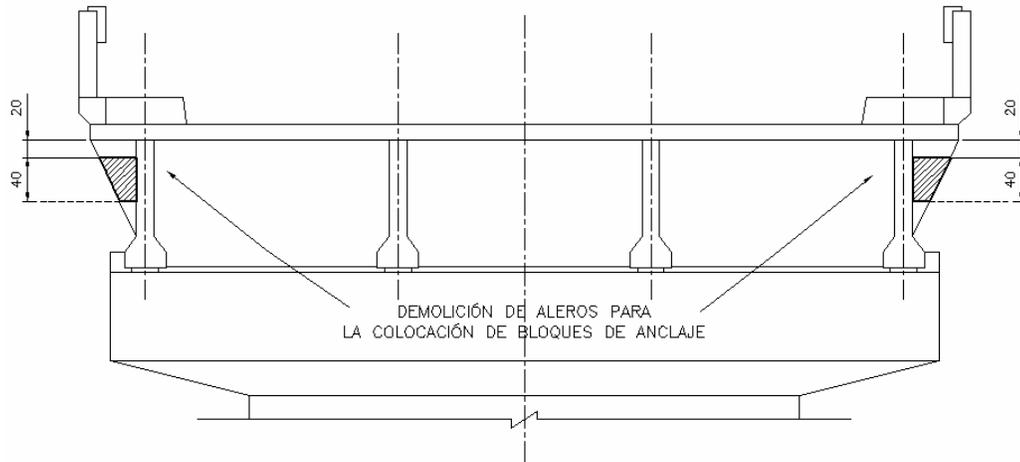
Esta actividad implica la construcción de 20 bloques de anclaje que sirven para sujetar los cables de presfuerzo ya tensados. Estos bloques tienen una sección transversal rectangular de 0.70 m. x 0.50 m. y una altura de 0.40 m. Para el armado de estos elementos, se utiliza acero de refuerzo con límite de fluencia de  $4,200 \text{ kg/cm}^2$ , el cual es colocado siguiendo las especificaciones marcadas en el plano No.13 Reforzamiento transversal, localizado en el apéndice B. La construcción de los 20 bloques de anclaje se ejecuta durante la construcción de pilotes de concreto reforzado, utilizando concreto hidráulico con una resistencia a la compresión de  $350 \text{ kg/cm}^2$  (Ver Figura 4.14).



**Figura 4.14 Bloques de anclaje.**

Fuente: Elaboración propia.

El 26 de Junio de 2006, se inicia la demolición de aleros ubicados a los extremos del tablero No.5 localizado entre las pilas No.5 y 6. Esta demolición proporciona espacio suficiente para la colocación de los bloques de anclaje. Esta actividad se realiza con ayuda de un martillo neumático, fracturando un área de 400 cm<sup>2</sup> aproximadamente, de concreto existente hasta exponer el acero de refuerzo (Ver Figura 4.15). Sin embargo, estos trabajos son suspendidos al observar que los aleros continúan en todo el ancho del puente, y porque además, al realizar la demolición de estos elementos se hallaron los cables de presfuerzo con los que se postensaron longitudinalmente las traveses tipo ASSHTO.



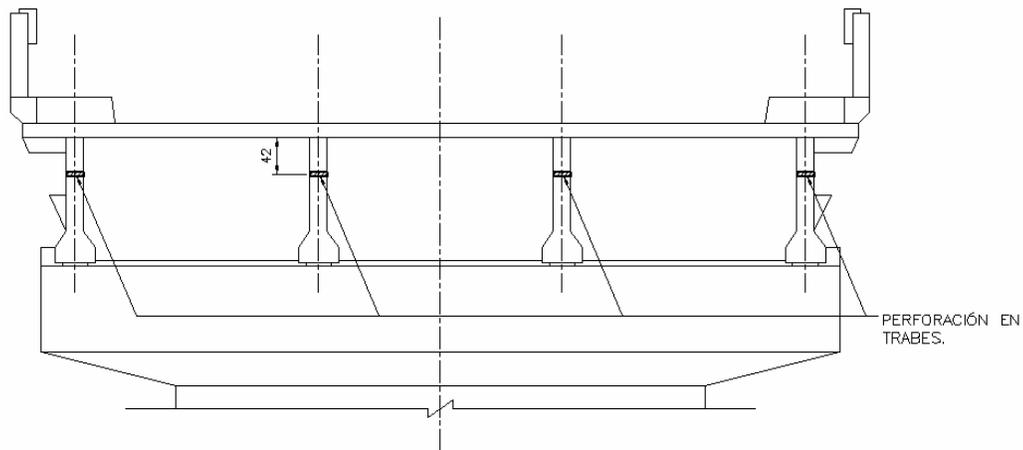
**Figura 4.15 Demolición de aleros.**

Fuente: Elaboración propia.

Como resultado, la compañía constructora (PYCSA), propone que el pretensado exterior se desplace 20 cm. a partir de los diafragmas extremos hacia el claro central del tablero. Esta medida, descarta la colocación de los bloques de anclaje antes construidos, puesto que, estos elementos fueron edificados con las dimensiones necesarias para albergar los cables de presfuerzo que tensan los dos diafragmas extremos localizados en cada apoyo.

Después de evaluar la propuesta, Petróleos Mexicanos (PEMEX) acepta la modificación de esta actividad y se procede a la reparación de los aleros. Esta reparación se realiza colocando, en el área demolida, concreto hidráulico con una resistencia a la compresión de  $250 \text{ kg/cm}^2$ .

Una vez reparados los aleros, se realizan perforaciones de 2" de diámetro en alma de las cuatro traves principales del tablero (Ver Figura 4.16). Las perforaciones se localizan 20 cm. antes de cada diafragma extremo con ayuda de un taladro. Esta actividad proporciona agujeros que permiten el paso de del conducto donde se albergaran los cables de presfuerzo.



**Figura 4.16 Perforación en traves tipo ASSHTO.**

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se colocan los dos ductos de polietileno de alta densidad para los cables de presfuerzo y realizar el postensado de los tableros (Ver Figura 4.17). Además, se habilitan y colocan los cables de presfuerzo tipo 4T15, los cuales están constituidos cada uno por 4 hilos de acero trenzados con un límite de fluencia de  $19,000 \text{ kg/cm}^2$ .



**Figura 4.17 Colocación de ducto de polietileno de alta densidad.**

Fuente: Elaboración propia.

Una vez colocados los dos cables de presfuerzo, se realiza el postensado de los extremos del tablero. Esta operación se efectúa con ayuda de un gato hidráulico, el cual tensa uno a uno cada hilo de acero que conformaban los cables tipo 4T15, hasta alcanzar el 80% de su resistencia última de 83.9 Ton. (Ver Figura 4.18). Para sujetar los cables de presfuerzo después de su tensado, se colocan en sus extremos sistemas de anclas conformados por cuñas que garantizan la retención de los hilos.

Al término de esta actividad, se cortan los excesos de acero y se cuelan en cada ancla bloques de 20 cm. x 20 cm. x 10 cm. utilizando concreto hidráulico con una resistencia de  $250 \text{ kg/cm}^2$ . Esta medida, se realiza para proteger contra la corrosión a los cables de presfuerzo y las anclas, y de igual manera, resguarda el amarre de los hilos de acero (Ver Figura 4.19).



**Figura 4.18 Tensado de cable tipo 4T15.**

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 4.19 Colado de bloques de concreto.**

Fuente: Elaboración propia.

De esta manera, se refuerzan transversalmente los extremos del tablero No.5. Continuando estos trabajos en los tableros No.4, 3 y 2 concluyendo el 26 de Octubre de 2006 en el tablero No.1. Es importante señalar, que las actividades para efectuar el reforzamiento transversal de los tableros no dependen del reforzamiento de trabes, por tal motivo estas labores se realizan de forma aislada.

Cabe señalar, que el postensado de los tableros es ejecutado por la compañía Freyssinet, la cual es subcontratada por la empresa constructora (PYCSA). Además, es importante mencionar que la mano de obra utilizada para el reforzamiento de los tableros es de tan sólo de 4 ayudantes supervisados por el residente de obra.

El reforzamiento transversal de los tableros, en sus extremos, aumenta la restricción de pandeo lateral de las vigas principales y proporciona una mayor resistencia a las trabes y a la superestructura en general. Además, aporta a la estructura mayor rigidez lo cual permite el levantamiento de los tableros necesario para realizar el cambio de apoyos de neopreno en cada trabe.

#### **4.2.3 Cambio de apoyos de las trabes tipo ASSHTO y renivelación de la superestructura en el apoyo No.3.**

El cambio de apoyos de las trabes se realiza bajo el reemplazo de los apoyos existentes por apoyos de neopreno con placas de acero, que por sus características permiten combinar rigidez y amortiguamiento en el mismo elemento. Además, esta actividad mejora la transferencia de las cargas de la superestructura a la subestructura, aísla y disipa los desplazamientos de traslación y rotación a los que está sujeta la estructura.

El cambio de apoyos inicia el 29 de Julio de 2006, en la pila No.6, cambiando los apoyos de las cuatro vigas principales tipo ASSHTO. Esta actividad requiere el levantamiento del tablero en este punto, lo cual se realiza colocando seis gatos hidráulicos. Estos gatos se ubican a los costados de las trabes en la base del diafragma extremo de este tablero (Ver Figura 4.20). Para la colocación de los gatos no es necesaria la demolición de ventanas planeada en el proyecto, puesto que existe espacio suficiente entre el diafragma y la pila para poder colocar estos mecanismos.



**Figura 4.20 Colocación de gatos hidráulicos.**

Fuente: Elaboración propia.

Una vez colocados los seis gatos hidráulicas, se levanta el tablero hasta la altura necesaria para realizar el cambio de los cuatro apoyos de neopreno. Esta operación se realiza vigilando que estos mecanismos desarrollen la misma fuerza para garantizar una elevación uniforme del tablero (Ver Figura 4.21). Cabe mencionar que para realizar el levantamiento de estos elementos no es necesaria la colocación de calzas, puesto que, los

gatos hidráulicos utilizados para llevar a cabo esta operación proporcionan una altura suficiente para realizar el cambio de apoyos de neopreno.



**Figura 4.21 Levantamiento de tablero.**

Fuente: Elaboración propia.

Después de obtener una altura suficiente, se retiran los cuatro apoyos existentes en cada trabe y se limpia perfectamente la superficie donde se colocaran los nuevos apoyos de neopreno, quitando todo el material residual que se encontraba en este sitio (Ver Figura 4.22).

Posteriormente, se colocan los nuevos apoyos de neopreno, móviles o fijos, dependiendo el eje donde se realizan estos trabajos (Ver Figura 4.23). Estos nuevos apoyos tienen una base cuadrada de 40 cm. por lado y un espesor de 5 cm. si son apoyos móviles, o de 7.5 de espesor si son apoyos fijos.



**Figura 4.22 Retiro de apoyos existentes y limpieza de la superficie.**

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 4.23 Colocación de apoyos de neopreno.**

Fuente: Elaboración propia.

Al término de estas actividades, se disminuye la altura de los gatos hidráulicos cuidado que durante este descenso del tablero no se modifique la pendiente del puente. Por último se retiran los seis gatos hidráulicos, finalizando el cambio de apoyos en uno de los extremos de las cuatro traves principales que yacen en la pila No.6.

De la misma forma, se cambian los apoyos existentes en cada uno de los extremos de las 20 traves principales tipo ASSHTO que conforman la superestructura del puente la Isla, colocando un total de 40 nuevos apoyos de neopreno. Es importante señalar, que esta operación se ejecuta levantando, uno a la vez, los extremos de cada tablero y para ello, se emplean 4 ayudantes.

Las maniobras para el cambio de apoyos presenta una duración de menos de una hora en el programa de obra, sin embargo, al depender de los trabajos de reforzamiento transversal de las traves y de la nivelación de la superestructura en el apoyo No.3, esta actividad se termina el 28 de Octubre de 2006, fecha en la cual se realiza la nivelación de la estructura.

La nivelación de la superestructura en el apoyo No.3 se realiza mediante la colocación de bancos de concreto en la base del patín inferior de cada una de las 8 traves que descansan en este apoyo, con el propósito de contrarrestar el asentamiento de 25 cm. presente en este apoyo.

Antes de llevar a cabo esta operación, se construyen 16 bancos de concreto reforzado, puesto que, se utilizan dos en cada trabe. Cada uno de los bancos tienen una base cuadrada de 50 cm. por lado y un espesor de 12.5 cm. Además, se construyen 56 calzadas cuadradas de concreto reforzado que tenían 15 cm. por lado y un espesor de 5 cm., las

cuales sirven como apoyos provisionales durante el levantamiento de los tableros. Estos elementos fueron edificados durante la construcción de los pilotes de concreto reforzado y posteriormente fueron transportados hasta la obra (Ver Figura 4.24)

Para la construcción, tanto de los bancos de concreto y las calzas, se utiliza concreto hidráulico con una resistencia a la compresión de  $250 \text{ kg/cm}^2$ . El acero de refuerzo que se utiliza en la fabricación de estos elementos se habilita y coloca según el plano No.14 llamado Cambios de apoyos y renivelación en el apoyo No.3, ubicado en el apéndice C de este trabajo.



**Figura 4.24 Suministro de bancos y calzas de concreto.**

Fuente: Elaboración propia.

La renivelación del apoyo No.3 requiere el levantamiento del tramo 2-3 y del tramo 3-4, lo cual se realiza al mismo tiempo, esto ante la incertidumbre de no saber el estado en

que se encuentra este apoyo ocasionado por el asentamiento presente en él. Para realizar esta operación, se instalan 6 gatos hidráulicos en cada tramo, instalando cada uno de ellos a los costados de las trabes, en la base del diafragma extremo de cada tramo. Para la colocación de los gatos, tampoco es necesaria la demolición de ventanas planeada en el proyecto, puesto que, existe el espacio suficiente entre los diafragmas y la pila para poder instalar estos mecanismos.

Una vez colocados los 12 gatos hidráulicos, se procede al levantamiento de la estructura hasta obtener una altura suficiente para colocar el primer banco de concreto en cada trabe, y además poder retirar los apoyos existentes en cada trabe. En seguida, se colocan los primeros bancos de concreto y se retiran momentáneamente los gatos hidráulicos para colocar dos calzas de concreto sobre cada uno de estos mecanismos y obtener mayor altura (Ver Figura 4.25).



**Figura 4.25 Colocación de calzas de concreto en bancos.**

Fuente: Elaboración propia.

Después de instalar dos calzas provisionales sobre cada gato hidráulico, se levanta nuevamente la estructura, lo cual permite colocar en cada uno de los bancos de concreto dos calzas de concreto (Ver Figura 4.26).



**Figura 4.26 Levantamiento de los tableros.**

Fuente: Elaboración propia.

Una vez más, se retiran los gatos hidráulicos, se instala en ellos una calza más y se eleva por tercera ocasión la estructura obteniendo una altura de más de 25 cm. (Ver Figura 4.27). Cabe mencionar que, para tener un control de la elevación de la estructura, la altura desarrollada es medida en cada trabe.

Posteriormente, se coloca el segundo banco de concreto en la base de cada una de las 8 trabes y se instalan los nuevos apoyos de neopreno de cada una de ellas, colocando apoyos móviles en las cuatro trabes pertenecientes al tramo 2-3 y apoyos fijos en las cuatro trabes del tramo 3-4 (Ver Figura 4.28). Por último, se retiran las calzas de concreto provisionales y los 12 gatos hidráulicos.



**Figura 4.27** Medición de la elevación.

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 4.28** Bancos de concreto y apoyos de neopreno en tableros.

Fuente: Elaboración propia.

Durante el izamiento de los tableros se vigila que los gatos hidráulicos desarrollen la misma fuerza para que este elemento se eleve de manera uniforme. Asimismo, durante el descenso de estos elementos se cuida que los tableros bajen de manera uniforme para no modificar la pendiente del puente.

La colocación de los bancos de concreto para llevar a cabo la renivelación de la superestructura en el apoyo No.3 se realiza en 2 horas aproximadamente. Para la ejecución de estos trabajos se emplean 8 ayudantes, lo cuales son supervisados por el residente de obra de la constructora y un supervisor de Petróleos Mexicanos. Sin embargo, la renivelación de la superestructura en el apoyo No.3 depende de la construcción de la nueva cimentación en esta pila, por tal motivo, esta operación se realizó hasta el 28 de Octubre de 2006.

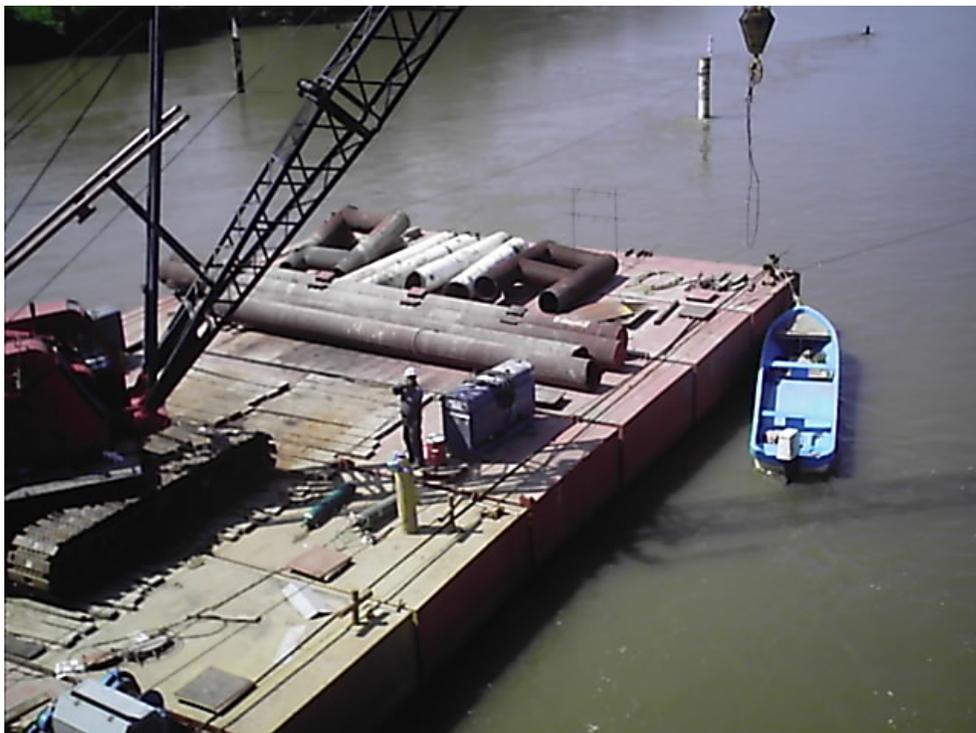
De esta manera, finalizan los trabajos de cambio de apoyos en los extremos de todas las traveses principales y se corrige el asentamiento presente en el apoyo No.3 de 25 cm. lo cual se puede corroborar viendo a simple vista que las traveses principales no descansan más sobre los apoyos metálicos con los que contaba el puente en esta pila (Ver Figura 4.29). Pocos días después, los dos apoyos metálicos son desmantelados y desechados del puente (Ver Figura 4.30).

Además, para brindar a la estructura mayor rigidez contra los desplazamientos transversales que pueden surgir durante un sismo, se realizan los trabajos necesarios para ampliar, en la pila No.3, la altura de los topes antisísmicos de 10 a 40 cm. Estos elementos se localizan a los costados de los tableros y su ampliación implica la ejecución de los siguientes trabajos: demolición de topes antisísmicos, prolongación de acero existente y colocación de concreto en estos elementos.



**Figura 4.29 Corrección de asentamiento en la pila No.3.**

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 4.30 Desmantelamiento de apoyos metálicos.**

Fuente: Elaboración propia.

La demolición de los topes antisísmicos se realiza mediante la fractura del concreto existente hasta exponer el acero de refuerzo del elemento y obtener una superficie uniforme que sirve de liga entre este elemento y el concreto que se adiciona posteriormente. Al término de estas actividades, se prolonga el acero de refuerzo existente mediante el suministro y colocación de varillas de No.3 (Ver tabla 3.1) según el armado existente. Por último, se suministra concreto hidráulico hecho en obra, con una resistencia de  $250 \text{ kg/cm}^2$ , el cual es colocado en el crecimiento de los topes antisísmicos (Ver Figura 4.31).



**Figura 4.31 Ampliación de topes antisísmicos.**

Fuente: Elaboración propia.

Es importante mencionar, que durante el levantamiento de los tableros es necesario el cierre al tránsito de vehículos, por tal motivo, estas actividades se realizan únicamente los días sábados, puesto que, en estas fechas existe menor tránsito de vehículos en esta vía de comunicación. Por otro lado, durante la elevación de la estructura en cada uno de sus tramos, se cuenta con la presencia de un supervisor perteneciente al área de comunicaciones de la región sur de Petróleos Mexicanos, puesto que, existe una línea de telecomunicaciones propiedad de esta empresa que pasa por el puente la Isla.

En conjunto, el cambio de apoyos y la renivelación de la estructura en este apoyo, anulan los quiebres bruscos del perfil, corrigiendo el alineamiento vertical del puente y regulando la rasante del mismo. De igual manera, se mejora el amortiguamiento de los tableros y la transferencia de las cargas de la estructura a la nueva cimentación. Además, con la ejecución de estas tareas se finaliza la etapa de reforzamiento de la superestructura para la rehabilitación del puente La Isla, brindando una mayor capacidad resistente a toda la estructura.

### **4.3 Mantenimiento del Puente.**

#### **4.3.1 Cambio de Juntas de dilatación.**

Las juntas de dilatación tienen como objetivo proporcionar una transición suave entre los módulos del puente, así como evitar la filtración de agua y otras sustancias químicas que oxidan y corroen los elementos de la subestructura. Para cumplir este objetivo, las 6 juntas existentes entre los 5 tramos del puente son renovadas mediante la colocación de nuevas juntas de dilatación tipo MEX T-50.

El cambio de las seis juntas de dilatación implica la ejecución de las siguientes actividades: demolición de carpeta asfáltica y de la losa de concreto reforzado, cambio de juntas de dilatación, colocación de concreto hidráulico en juntas de dilatación y colocación de perfil de neopreno. La ejecución de estos trabajos exige el cierre parcial del puente en el tramo en construcción, realizando estos trabajos en la primera mitad de la calzada y posteriormente en la segunda mitad.

Los trabajos de demolición inician el 1 de Agosto de 2006, en el extremo del tramo No.5 en la primera mitad de la calzada. Esto después de haber realizado el reforzamiento transversal de este módulo. Estos trabajos corresponden a la fractura de la carpeta asfáltica y del concreto existente en la losa hasta exponer el acero de refuerzo de este elemento (Ver Figura 4.32).



**Figura 4.32 Demolición de carpeta asfáltica y losa de concreto.**

Fuente: Elaboración propia.

La demolición se realiza a 20 cm. en los costados de la junta existente y hasta 10 cm. de la guarnición para fijar remate de nueva junta. Esta operación se ejecuta con ayuda de un martillo neumático cuidando que no se dañe el acero de refuerzo existente, puesto que, éste se utiliza para formar el armado de la nueva junta de dilatación. Una vez expuesto el acero de refuerzo y la junta existente (Ver Figura 4.33), se retiran los ángulos y las placas de acero que conforman este elemento (Ver Figura 4.34).



**Figura 4.33 Exhibición de acero de refuerzo y junta existente.**

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 4.34 Sustracción de junta existente.**

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se arma y coloca el nuevo perfil de acero que alberga la junta de dilatación tipo MEX T-50. Este perfil se ancla mediante alambres al acero de refuerzo existente el cual se limpia con el propósito de eliminar los residuos de óxido existente. Asimismo, como parte de la nueva junta, se instala dentro del perfil una placa de polietileno de alta densidad (Ver Figura 4.35).



**Figura 4.35 Colocación de junta de dilatación tipo MEX T-50.**

Fuente: Elaboración propia.

Al concluir estas actividades, se recupera la zona debilitada en las juntas de calzada mediante la colocación de concreto hidráulico con una resistencia a la compresión de 250 kg/cm<sup>2</sup>. Esta mezcla se elabora en obra y se coloca en capas de 10 cm. de espesor. Además, para el acomodo del concreto se realiza el vibrado de cada capa de la mezcla cuidando el contacto directo del vibrador con el acero de refuerzo (Ver Figura 4.36). Al término del colado, se proporciona a la cara expuesta un acabado liso, obteniendo una superficie continua y libre de oquedades o salientes (Ver Figura 4.37).



**Figura 4.36 Colocación y vibrado de concreto hidráulico en juntas de dilatación.**

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 4.37 Acabado superficial liso en juntas de dilatación.**

Fuente: Elaboración propia.

De esta forma, se terminan los trabajos en la primera mitad de la calzada y se procede a la ejecución de estas mismas actividades en la segunda mitad de la calzada. Al finalizar los trabajos para el cambio de juntas de dilatación y cuando el colocado alcanza su resistencia de diseño, se coloca en todo lo ancho de la calzada el perfil de cierre de neopreno.

Este perfil se introduce a presión al dispositivo de junta y se ancla a las guarniciones de la calzada (Ver Figura 4.38). Antes de colocar el perfil, se limpia perfectamente el dispositivo de junta librándolo de cualquier sustancia, y después, se aplica a este mecanismo una resina de sello que proporciona protección contra la corrosión. De este modo, se concluyen los trabajos para el cambio de juntas de dilatación en el extremo del tramo No.5.



**Figura 4.38 Colocación de perfil de neopreno.**

Fuente: Elaboración propia.

Cabe mencionar, que al término de cada jornada de trabajo durante la ejecución de estas actividades y con el propósito de restablecer el tránsito de vehículos en el tramo en construcción, se colocan placas de acero sobre la superficie de rodamiento, lo cual protege a los usuarios y a los trabajos realizados para el cambio de juntas (Ver Figura 4.39).



**Figura 4.39 Placas de protección.**

Fuente: Elaboración propia.

Siguiendo este procedimiento se realiza el cambio de las seis juntas de dilatación del puente la Isla, concluyendo esta tarea el 7 de Noviembre de 2006, puesto que, esta actividad depende del reforzamiento transversal de los tableros. La colocación de las nuevas juntas de dilatación restablece la transición suave entre los módulos del puente, mejora la transmisión de cargas en la estructura y proporciona a la estructura los espacios necesarios para los desplazamientos longitudinales de contracción o dilatación a los que están sujetos los elementos de la estructura.

#### **4.3.2 Reencarpetamiento de la estructura y sus accesos.**

El reencarpetamiento de la estructura y sus accesos se realiza mediante la colocación de una nueva carpeta asfáltica, que proporciona a la estructura una nueva superficie de rodamiento capaz de distribuir de manera uniforme las cargas actuantes en el puente a la losa de la superestructura.

Como trabajo previo a la construcción de esta nueva superficie de rodamiento se remueve la carpeta asfáltica existente en el puente, lo cual inicia el 7 de Noviembre de 2006, en el carril derecho del puente. Esto después de haber concluido el cambio de juntas de dilatación existentes entre los módulos del puente.

La remoción de la carpeta existente requiere el cierre a la circulación de vehículos en este carril, por tal motivo, antes de iniciar estos trabajos se instalan las señales y dispositivos necesarios para prevenir a los usuarios de esta vía de comunicación.

Después de instalar los señalamientos, se ejecuta la remoción de la carpeta existente hasta alcanzar el concreto de la losa de la superestructura. Para efectuar esta operación se utiliza una excavadora hidráulica, en la cual se le instaló una paleta de acero que facilitaba el retiro del material (Ver Figura 4.40). Estos trabajos se realizan cuidadosamente para no dañar los dispositivos de juntas antes colocados u otros elementos del puente.

Un día después, se finaliza el retiro de concreto asfáltico en ese carril y continuando estos trabajos para el carril izquierdo, siguiendo las especificaciones antes mencionadas. La remoción de la carpeta asfáltica concluye el 10 de Noviembre de 2006, retirando más de 120 m<sup>3</sup> de material.



**Figura 4.40 Remoción de carpeta asfáltica existente.**

Fuente: Elaboración propia.

El 18 de Noviembre de 2006 se realiza el reencarpetamiento de la estructura incluyendo las siguientes actividades: barrido general de la losa, colocación de riego de liga, colocación de concreto asfáltico y compactación de la carpeta. Para efectuar estas actividades es necesario la suspensión del 100% de la circulación de vehículos.

El barrido general se realiza con herramienta manual en toda la estructura para poder aplicar el riego de liga (Ver Figura 4.41). Posteriormente, se suministra el riego de liga elaborado con emulsión asfáltica catiónica, el cual es colocado en proporción de 0.6 l/m<sup>2</sup> aproximadamente (Ver Figura 4.42). El riego de liga es suministrado por una pipa y colocado a mano con ayuda de una manguera a todo lo ancho de la calzada.



**Figura 4.41 Barrido general.**

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 4.42 Colocación de riego de liga.**

Fuente: Elaboración propia.

En seguida, se realiza un poreo mediante la colocación de una capa de emulsión asfáltica elaborada con las mismas características del concreto asfáltico a colocar. Esta capa se aplica a mano con ayuda de palas en toda la calzada del puente y sirve para reforzar la liga entre el riego de liga y la carpeta asfáltica (Ver Figura 4.43).



**Figura 4.43 Colocación de capa de poreo.**

Fuente: Elaboración propia.

Consecutivamente, se coloca concreto asfáltico elaborado en caliente con material pétreo con un tamaño máximo de 19 mm. (3/4") y cemento asfáltico AC-20, su dosificación es de 125 kg/m<sup>3</sup> de material pétreo seco y suelto, aproximadamente. Esta mezcla es modificada con polímeros para brindar mayor flexibilidad a la carpeta. Además, este concreto es diseñado por el procedimiento Marshall y debe resistir un tránsito diario de más de 2,000 vehículos pesados.

La colocación del concreto asfáltico inicia en el carril derecho utilizando una pavimentadora modelo Blaw Knox DB-180 Paver la cual proporciona un ancho de pavimentación de 3.8 m. cubriendo el ancho de este carril con una carpeta de 8 cm. de espesor (Ver Figura 4.44).



**Figura 4.44 Colocación de concreto asfáltico.**

Fuente: Elaboración propia.

La mezcla asfáltica debe contar con una temperatura mínima de  $180^{\circ}$  C, por tal motivo se monitorea la temperatura de la mezcla durante su colocación (Ver Figura 4.45). Esta mezcla es transportada de la planta pavimentadora hasta la obra mediante camiones de volteos de  $7 \text{ m}^3$  de capacidad, los cuales depositan directamente el concreto asfáltico a la tolva de la pavimentadora, para poder elaborar la nueva carpeta (Ver Figura 4.46).



**Figura 4.45 Medición de la temperatura.**

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 4.46 Suministro de concreto asfáltico.**

Fuente: Elaboración propia.

Una vez colocado el concreto asfáltico éste se compacta al 95% para obtener una carpeta asfáltica de 5 cm. de espesor (Ver Figura 4.47). Esta operación se realiza utilizando una compactadora vibratoria de asfalto, la cual tiene un ancho de tambor de 1.30 m. Para lograr el espesor de 5 cm. y la compactación especificada, esta máquina realiza hasta cuatro pasadas en cada tramo.



**Figura 4.47 Compactación de concreto asfáltico.**

Fuente: Elaboración propia.

Cuando se finaliza la colocación y compactación de la carpeta asfáltica en el carril derecho, estos trabajos se continúan en el carril izquierdo, donde son suspendidos en el tramo 1-2 debido a que la planta deja de producir la mezcla asfáltica por lluvia. De tal manera, el reencarpetamiento de la estructura se concluye un día después, el 19 de Noviembre de 2006, utilizando más de 80 m<sup>3</sup> de concreto asfáltico (Ver Figura 4.48)



**Figura 4.48 Reencarpetamiento de la estructura.**

Fuente: Elaboración propia.

Es importante mencionar, que la fabricación y colocación del concreto asfáltico es realizado por la empresa Escudero Construcciones S.A. de CV, la cual es subcontratada por la compañía constructora (PYCSA).

Cabe señalar, que el reencarpetamiento de los accesos al puente no es necesario, puesto que, la carpeta existente en estos tramos se encuentra en buenas condiciones. Por lo cual, Petróleos Mexicanos (PEMEX) elimina esta tarea dentro de la etapa de mantenimiento de la estructura.

De esta manera se efectúa el reencarpetamiento de la estructura, la cual proporciona a la estructura una nueva superficie de rodamiento capaz de resistir el tránsito diario de más de 2,000 vehículos pesados, y que además, garantiza la distribución uniforme de las cargas actuantes en el puente hasta la losa de la superestructura.

### **4.3.3 Recuperación de conos de derrame.**

La recuperación de los conos de derrame ubicados en el apoyo No.1 y 6, se proyecta con el propósito de brindar a la cimentación una protección contra los efectos de la erosión y socavación provocados por el cauce del río.

La recuperación del cono de derrame en el apoyo N.1 se plantea mediante la reposición del talud deslavado. Lo cual implica la construcción de un talud de 1.5:1 utilizando material de banco compactado al 90%, el cual es protegido por una losa de concreto reforzado. Además, para la protección del nuevo cono de derrame se colocarían dentellones de concreto reforzado.

Al observar que el río ha socavado gran parte de su margen izquierdo, donde se localiza el apoyo No.1, a tal grado que existen deslaves de gran magnitud provocados por el aumento de la velocidad del río debido a las precipitaciones registradas durante el mes de Agosto y Septiembre del 2006 (Ver Figura 4.49). La propuesta proyectada para la recuperación del cono de derrame en el apoyo No.1 es rechazada por la compañía constructora (PYCSA), puesto que, se determina que los trabajos planteados son insuficientes para salvaguardar la cimentación de la estructura en este apoyo.

Ante esta problemática, Petróleos Mexicanos realiza una inspección de esta área, comprobando que durante la avenida máxima registrada en este período aumenta el nivel de socavación en el margen izquierdo del río Carrizal provocando deslaves en toda esta zona y afectando a más de 5 familias asentadas en ella (Ver Figura 4.50). En consecuencia, los trabajos planteados para la recuperación del cono de derrame en el apoyo No.1 son descartados y se excluye esta tarea del proyecto de Rehabilitación del puente La Isla.



**Figura 4.49** Margen izquierdo del río Carrizal.

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 4.50** Deslaves en el margen izquierdo del río Carrizal.

Fuente: Elaboración propia.

Por otro parte, la recuperación del cono de derrame localizado en el apoyo No.6, se efectúa mediante la limpieza y el resane de imperfecciones con mortero hidráulico de baja contracción existentes en este elemento. Además, con el propósito de evitar la filtración de agua y otras sustancias al terraplén, en los apoyos No.1 y 6 se construyen lavaderos de concreto reforzado.

Con la realización de estas tareas, se concluye la recuperación de los conos de derrame, protegiendo a la cimentación y a los terraplenes existentes en estos apoyos, contra los efectos de erosión y socavación provocados por el cauce del río Carrizal.

#### **4.3.4. Mantenimiento Menor.**

Los trabajos de mantenimiento menor tienen el objetivo de mejorar las condiciones de servicio de la estructura. Para ello, se realizan las siguientes actividades: limpieza de la estructura y sus accesos; reacondicionamiento de parapetos, guarniciones y banquetas; construcción y colocación de tapas de registro; mantenimiento y renovación de barreras de seguridad; y por último, señalización y pintura.

La limpieza de la superestructura se realiza para brindar una mejor apariencia a la estructura del puente. Esta actividad se efectúa mediante el lavado de todos los elementos que conforman la subestructura del puente utilizando una pistola de agua a presión, la cual elimina la presencia de humedad en estos elementos. Por otra parte, la limpieza de la superestructura se realiza mediante un barrido general de las banquetas, guarniciones y de la superficie de rodamiento, retirando la basura acumulada en estos elementos.

El reacondicionamiento de los parapetos, guarniciones y banquetas se efectúa con el propósito de restituir las condiciones originales de estos elementos. Para ello, se aplica mortero agua-cemento en las imperfecciones presentes en estos elementos. Este mortero se coloca y moldea a mano con ayuda de una espátula de acuerdo al desperfecto a reparar, y por último, se le proporciona a la superficie un acabado con textura uniforme y sin rebordes (Ver Figura 4.51).



**Figura 4.51 Resane de imperfecciones.**

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, en los elementos que presentan deterioros o daños provocados por impacto y por efectos de corrosión, son reparados parcialmente retirando completamente el concreto dañado y restaurando el elemento con la colocación de concreto hidráulico. Este concreto es elaborado en obra con una resistencia a la compresión de  $250 \text{ kg/cm}^2$ , el cual se moldea de acuerdo al elemento a reparar y se le daba un acabado uniforme.

Además, como parte de esta actividad, se colocan los repuestos de las tapas de registros existentes en las banquetas. Esto implica la fabricación de 12 tapas de registro de concreto reforzado con las siguientes dimensiones: 0.53 m. de ancho, 0.81 m. de longitud y 0.07 m. de espesor. Estas piezas son construidas en obra con concreto hidráulico con una resistencia a la compresión de  $250 \text{ kg/cm}^2$  y varillas del No.3 con un límite de fluencia de  $4,200 \text{ kg/cm}^2$ , las cuales son colocadas según la experiencia del contratista. A los 28 días que el concreto alcanza su resistencia a la compresión se colocaron las 12 tapas de registro, concluyendo las labores de reacondicionamiento de banquetas, guarniciones y parapetos (Ver Figura 4.52).



**Figura 4.52 Colocación de tapas de registros.**

Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, el mantenimiento y renovación de barreras de seguridad, se lleva a cabo mediante la limpieza y reparación de las barreras de seguridad existentes. Además, se fabrican 4 barreras de seguridad de doble onda, las cuales cuentan cada una con una

longitud total de 6.30 m. y un ancho efectivo de 0.40 m. (Ver Figura 4.53). Estas piezas son colocadas en los accesos del puente la Isla, como medida de protección de los usuarios.



**Figura 4.53 Colocación de barreras de seguridad.**

Fuente: Elaboración propia.

Además, con el propósito de informar y ordenar la circulación en el puente, se ejecutan trabajos de señalización. Estos trabajos corresponden a la instalación de señales verticales en los accesos del puente, 4 señales tipo informativas y 4 señales tipo preventivas.

Por último, se limpian y cepillan las guarniciones y los parapetos desprendiendo la capa de pintura existente en estos elementos. Posteriormente, se aplican dos capas de pintura en las guarniciones y parapetos suministrando una protección contra la corrosión en estos elementos, brindando una mejor apariencia a la estructura (Ver Figura 4.54).



**Figura 4.54 Aplicación de pintura en parapetos y guarniciones.**

Fuente: Elaboración propia.

De esta manera, se concluyen los trabajos de mantenimiento menor de la estructura, complementando la fase de mantenimiento de la superestructura (Ver Figura 4.55). Asimismo, con los trabajos de mantenimiento y reforzamiento de la superestructura se garantiza una mayor capacidad de carga del puente la Isla y proporciona a los usuarios mejores condiciones de servicio.

Igualmente, con la ejecución de estas actividades se concluye la etapa de rehabilitación de la superestructura, finalizando el proyecto de Rehabilitación del puente la Isla el 15 de Diciembre de 2006. Con la terminación de este proyecto se aumenta la resistencia estructural del puente y se recupera en su totalidad la funcionalidad y seguridad del mismo, prolongando la vida útil de la estructura y otorgando a los usuarios una edificación confiable y con mejores condiciones de servicio.



**Figura 4.55 Mantenimiento de la superestructura.**

Fuente: Elaboración propia.