



## XIX REUNIÓN NACIONAL DE INGENIERÍA DE VÍAS TERRESTRES “MOVILIDAD, FACTOR DETONANTE PARA EL PROGRESO DE MÉXICO”

### PLANEACION Y CONSTRUCCION DEL PUENTE BALUARTE

ING. SALVADOR SANCHEZ NUÑEZ  
DIRECTOR DE PROYECTO  
TRADECO INFRAESTRUCTURA

El Puente Baluarte, una obra de altas especificaciones con una longitud de 1,124 metros; es la estructura atirantada más grande a nivel mundial, pues cuenta con una altura a nivel de calzada de 402.57 metros (record guinness) que permitirá librar una barranca de esta profundidad, con un claro central de 520 metros, sus características principales se muestran en la TABLA 1.

Se trata del puente más importante y emblemático que se haya hecho en la historia de nuestro país, tanto por el reto que se superará con su construcción y porque librar una barranca de este tipo sólo es alcanzable con la tecnología más avanzada y con la conjunción de esfuerzos.

El puente se encuentra en los límites de Durango y Sinaloa, en él continúa la modernización de la autopista Durango-Mazatlán, con lo que se ahorrarán tres horas y media de recorrido total de la autopista, ya que actualmente la distancia entre Durango-Mazatlán se recorre en seis horas promedio. Esta autopista corresponde al eje carretero número 5 Matamoros-Mazatlán siendo uno de los corredores troncales prioritarios de la red carretera nacional.

DESCRIPCION	CANTIDAD
Longitud total	1,124 m
Profundidad de la barranca	402.57 m
Número de apoyos	12
Número de claros	11
Claro principal	520 m
Ancho total	22 m
Longitud de estructura de acero	432 m
Longitud de estructura de concreto	692 m
Altura máxima de pila – pilón (apoyo no. 6)	101 m
Altura máxima de pilas (apoyo no. 9)	153 m
Dimensión máxima de zapatas	18 X 30 m
Tipo de atirantamiento	Abanico
Número de tirantes	152
Longitud máxima de tirantes	280 m
Número de torones por tirante	20 A 47 pza
Pendiente longitudinal	5 %

**TABLA 1. Características Principales**

## XIX REUNIÓN NACIONAL DE INGENIERÍA DE VÍAS TERRESTRES “MOVILIDAD, FACTOR DETONANTE PARA EL PROGRESO DE MÉXICO”

### 1. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

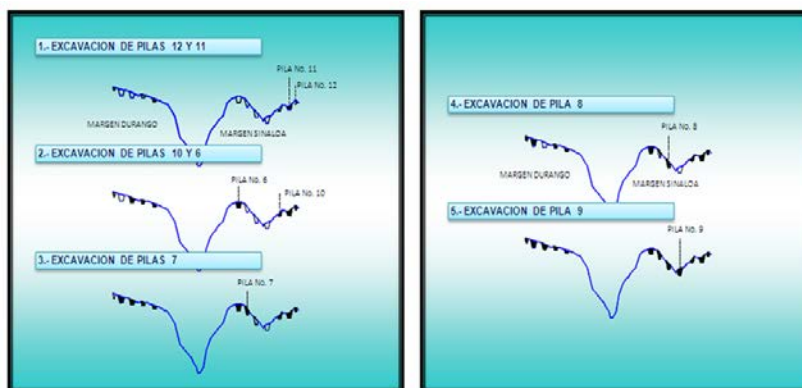
#### 1.1. CIMENTACION

Una vez terminados los caminos de acceso a cada uno de los apoyos se procedió a excavarlos en el orden siguiente:

##### 1.1.1. Margen Sinaloa

Se excavaron las pilas 12, 11, 10, 6, 7, 8 y 9 por tener la condicionante de una topografía muy accidentada (perfil puente) como se puede apreciar en la FIGURA 1.

El procedimiento de excavación fue barrenar a 6 metros de profundidad y diámetro de 3” Ø con equipo de perforación track drill; una vez que se tienen diseñadas las plantillas de barrenación (cuadrículas) se calculó la cantidad de explosivo que a utilizar por m<sup>3</sup> de material; terminada la barrenación del área correspondiente se procedió a cargar el explosivo suficiente para dar la fragmentación del material requerido para su fácil manejo al retiro del mismo.



**FIGURA 1.- Secuencia de excavaciones en margen Sinaloa**

Ejecutada la voladura fue rezagado el producto de la misma y una vez terminado se procedió a barrenar para el siguiente ciclo para desalojar los 6 metros del nuevo evento y así sucesivamente hasta llegar al desplante de las zapatas. Para el retiro del material se utilizó un tractor, retroexcavadora y camiones de volteo. En paralelo a esta actividad fueron hechos los anclajes en los taludes, y para la protección o estabilización del terreno se colocó concreto lanzado y malla electrosoldada, en algunos casos fue complementada con malla de triple torsión.

**1.1.1 Margen Durango.-** El orden de excavación fue de pilas 5, 4, 3, 2, 1 y se hará de la misma forma descrita para los apoyos del lado Sinaloa.

Concluidas las excavaciones a nivel de desplante de los apoyos se procedió a colar una plantilla de concreto para posteriormente colocar el armado de las zapatas con el acero de refuerzo previamente habilitado, de acuerdo al proyecto, respetando la

**XIX REUNIÓN NACIONAL DE INGENIERÍA DE VÍAS TERRESTRES  
“MOVILIDAD, FACTOR DETONANTE PARA EL PROGRESO DE MÉXICO”**

geometría indicada en los planos de construcción, como se aprecia en la FIGURA 2. Paso siguiente; se colocó cimbra donde fue requerida, para finalmente colocar el concreto con el “F’c” correspondiente al elemento en cuestión.



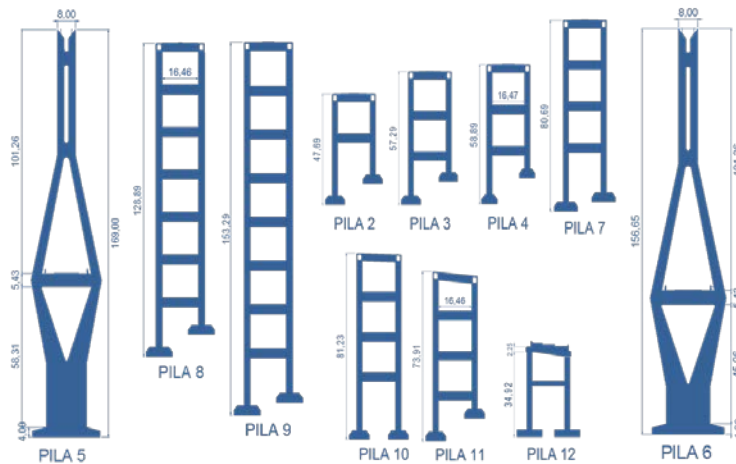
**FIGURA 2.- Excavación de zapatas y armado de acero de refuerzo**

La colocación del concreto se realizó por gravedad (tiro directo), con bomba y con grúa de construcción y bacha, al momento de estar vaciando el concreto, este se extendió con vibradores de inmersión, de combustión, eléctricos y neumáticos.

Finalmente al pasar 8 horas como mínimo se procedió a retirar la cimbra y colocar la membrana de curado sobre la cara del elemento terminado, evitando con esto la presencia de grietas generadas por el calor al estar fraguando el concreto.

**1.2. SUBESTRUCTURA.**

Construcción de los cuerpos de pilas de los apoyos 1 al 4 y del 7 al 12 (FIGURA 3).



**FIGURA 3.- Altura de pilas**

Para la construcción del cuerpo de pilas de los apoyos secundarios fue utilizada cimbra trepadora con una altura de 5 metros.

**1.2.1. En margen Sinaloa.**

Se empezó con el apoyo 12, 11, 10, 6, 7, 8 y 9, siempre llevando en forma simultánea dos apoyos a la vez, hasta terminar la pila a la altura del proyecto en

## XIX REUNIÓN NACIONAL DE INGENIERÍA DE VÍAS TERRESTRES “MOVILIDAD, FACTOR DETONANTE PARA EL PROGRESO DE MÉXICO”

tramos de 5 metros e ir colocando las traves intermedias que unen las columnas que forman la pila, ubicadas estas a cada 15 metros de altura (FIGURA 4).

Para lograr lo anterior se colocó primeramente el acero de refuerzo de acuerdo a proyecto, terminado el tramo de 5 metros se procedió a colocar la cimbra, siendo alineada y fijada con los dispositivos con los que cuenta el molde, fueron colocadas piezas especiales previas al colado, que sirvieron de anclaje al molde en el siguiente movimiento.



**FIGURA 4.- Armado y colado de apoyos**

Cumpliendo con lo anterior se procedió a colocar el concreto con el auxilio de una grúa de construcción, cubeta para concreto (bacha) y vibradores de inmersión para darle compacidad al concreto; esto se repitió hasta terminar la pila a la elevación del proyecto, el rendimiento fue de 7.5 metros lineales de altura de pila por semana. Finalmente cuando ya obtenido el fraguado del concreto fue retirado el molde y colocada la membrana de curado.

### 1.2.2. En margen Durango

El orden de ejecución de las pilas fue del apoyo 4,3,2,5 y estribo 1, realizando todo lo anteriormente descrito.

### 1.3. CONSTRUCCIÓN DE PILAS PRINCIPALES.

A continuación se construyeron los cuerpos de los Pilonos 5 y 6 para los cuales se contó con equipo de construcción independiente, simultáneamente se iniciaron y concluyeron la construcción de las pilas 12, 11, 10, 4 y 3, además del estribo 1, a medida que se fueron construyendo los cuerpos de las pilas 8 y 9 se colocaron retenidas indicadas en los planos de proyecto.

Las Pilas principales 5 y 6 fueron construidas en 3 etapas (FIGURA 5) que son:

- **1ª. Etapa.-** Se inició el armado del cuerpo de pila de la sección rectangular hasta la elevación de proyecto colocando el molde con altura de 5 m., fue alineada y troquelada la cimbra para colocar el concreto con el uso de la Grúa Torre o de Construcción y Bacha, vibrando el concreto en capas de 30 o 50 cm. para lograr su compacidad, esperando el fraguado del concreto aproximadamente 10 hrs. para retirar el molde o cimbra, e iniciar el ciclo siguiente, y así sucesivamente hasta terminar con la altura de proyecto.

## XIX REUNIÓN NACIONAL DE INGENIERÍA DE VÍAS TERRESTRES “MOVILIDAD, FACTOR DETONANTE PARA EL PROGRESO DE MÉXICO”

- **2ª. Etapa.-** Se inició el armado de los brazos de la pila, colocando el molde para hacer colados de 3 m. verticales; se colocó el concreto de la misma forma explicada anteriormente hasta llegar a la altura del cabezal.
- **3a. Etapa.-** Se inicio con el mástil o “Y” invertida con el mismo proceso de la etapa anterior hasta llegar al cierre de los brazos inclinados y de esa elevación iniciar la parte recta del mástil, hasta llegar a la altura que marca el proyecto; para esto se dejaron previamente embebidos los ductos por donde fueron anclados los tirantes.

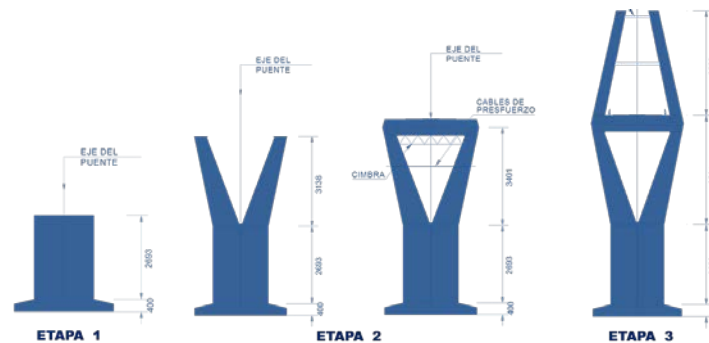


FIGURA 5.- Etapas de construcción pilas 5 y 6

### 1.4. CONSTRUCCIÓN DE SUPERESTRUCTURA

El Viaducto Baluarte contiene 170 dovelas en hormigón, 150 situadas entre pilas secundarias y serán construidas en sitio con carros en doble voladizo y 20 dovelas hacia el claro principal.

Cada dovela tiene una longitud de 4 metros, la geometría general la podemos apreciar en la FIGURA 6.

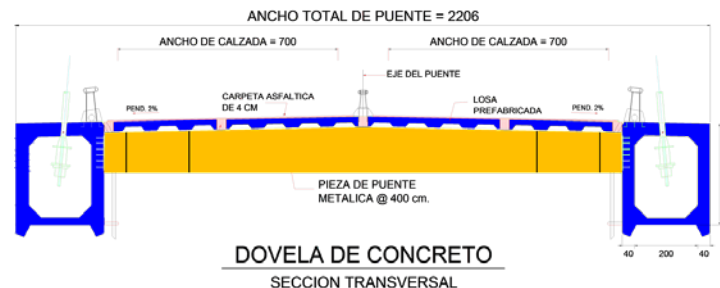


FIGURA 6. Dovelas de concreto

Enseguida fueron construidas las Dovelas de pila de los apoyos 5 y 4, así como 6 y 7, incluyendo el elemento transversal horizontal que une las dos columnas (trabe eje de pila), hecho lo anterior fueron montados los carros de colado para colar los cajones en doble voladizo iniciando con la dovela 1 (D1).

## XIX REUNIÓN NACIONAL DE INGENIERÍA DE VÍAS TERRESTRES “MOVILIDAD, FACTOR DETONANTE PARA EL PROGRESO DE MÉXICO”

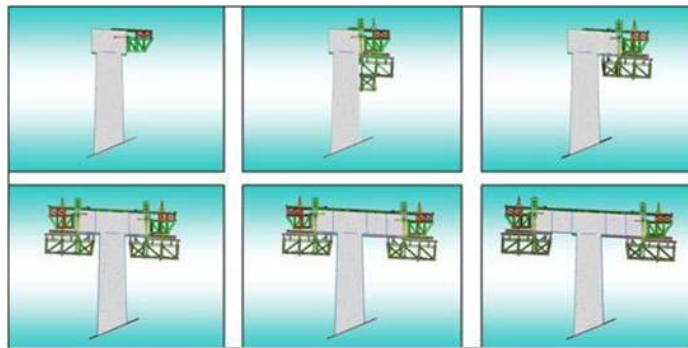
La construcción de los doble voladizos empezaron con un pre-ensamble del carro de avance, este fue efectuado en el piso para minimizar el impacto sobre la duración del proyecto y reducir las actividades de altura.

Una vez que el pre-ensamble y la dovela sobre pila fueron acabados, fue izado el carro de avance en la cumbre de la pila en posición para colar la primera dovela, como se observa en la FIGURA 8.

Se efectuaron pruebas y verificaciones para asegurar que el carro fuera conforme con las expectativas y capaz de sostener la carga futura.

Durante el curado del hormigón, la parte frontal fue desencofrada, ya instalados los cables y los anclajes, se preparó el tensado y fueron instalados los rieles de lanzamiento del carro.

Una vez que el hormigón cumplió con la resistencia requerida, procedimos al tensado y al desencofrado.



**FIGURA 7. Utilización de carros de colado**

El carro está listo para efectuar su primer lanzamiento. Según los resultados del consultor para el control geométrico, nivelamos y configuramos el carro.

Trabajamos de manera simultánea al otro lado de la pila para restablecer el equilibrio. Las dovelas son postensadas de manera definitiva por cables de Presfuerzo anclados en el hormigón. La operación se repitió, guardando continuamente el equilibrio por cada lado de la pila, hasta el cierre del tramo. Posteriormente el carro fue desmontado, quedando disponible para ser utilizado sobre otra pila.

Simultáneamente fue construida la obra falsa y cimbra apoyados en el terreno natural para llevar a cabo la construcción de la dovela de orilla junto al estribo No. 1 y la pila No. 12 la cual estará en espera del avance en doble voladizo. Fueron colocados 20 carros de colado, 10 en cada extremo del puente, en esta fase se iniciamos la construcción de los cuerpos de las pilas 3, 8 y 9 usando la cimbra liberada de las pilas

## XIX REUNIÓN NACIONAL DE INGENIERÍA DE VÍAS TERRESTRES “MOVILIDAD, FACTOR DETONANTE PARA EL PROGRESO DE MÉXICO”

5, 4, 7 y 6. A medida que se fueron construyendo los cuerpos de las pilas 8 y 9 se colocaron las retenidas indicadas en los planos del proyecto.

### 1.5. CONSTRUCCIÓN DE DOBLES VOLADIZOS

Continuando el avance de construcción de cajones de superestructura se fueron construyendo las dovelas D2 hasta la D8, desde las pilas 5, 4, 3, 7 y 6 excepto en la pila 9 se llega hasta D9.

### 1.6. CONSTRUCCIÓN DE DOVELAS DE CIERRE EN DOBLE VOLADIZO

A continuación se llevaron a cabo los colados de las dovelas de cierre, en el tramo 1 – 2 usando el carro que venía de pila 2 en el tramo 2 – 3 también se utilizó el carro que venía de 2 – 3 y los carros montados en pila 3 se desmontaron en esta fase para utilizarse en otra pila (FIGURA 8).

Para el tramo 11 – 12 Fue utilizado el carro que viene de pila 11, en el tramo 10 – 11 fue usado el que viene de pila 10 y los carros provenientes de pila 11 fueron desmontados para usarse en otra pila. Cabe mencionar que primero cerramos el tramo 10 – 11 para luego continuar con el tramo 11 – 12 en voladizo con las dovelas D6 y D7, para finalmente efectuar el cierre 11 – 12, haciendo mención que en esta fase se concluyeron las partes inferiores de los pilones 5 y 6, incluyendo la dovela de pila, la cual es también la riostra del pilón, a nivel del tablero.

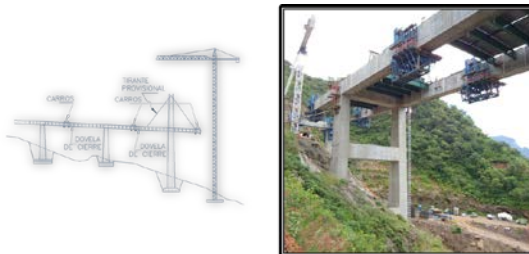


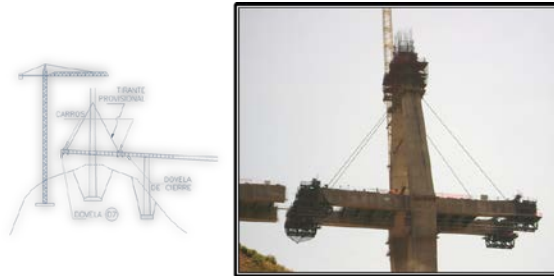
FIGURA 8. Cierre en doble voladizo

### 1.7. CONSTRUCCIÓN DE DOBLES VOLADOS EN PILAS PRINCIPALES

Enseguida fueron construidas las dovelas de pila de los apoyos 10, 8 y 9, incluyendo el elemento transversal horizontal que une las dos columnas de la pila, después se inició el montaje de los carros de colado para el doble voladizo desde las pilas 10, 8 y 9 alcanzando la dovela D7 desde la pila 8, la dovela D7 desde pilón 5, la dovela D9 desde pila 9, en el caso del doble voladizo desde los pilones 5 y 6, estas fueron coladas conforme el avance en el doble voladizo (FIGURA 9). También observamos que en estos voladizos del pilón 5 y del pilón 6, al llegar a la dovela no. 6 fueron instalados y tensados los tirantes provisionales. En esta fase continuamos con la construcción de las patas inclinadas del pilón 5 y 6, utilizando un puntal a 18.50 m. de altura sobre el nivel de la superestructura y otro a 34.50 m. sobre el mismo nivel, a fin de evitar que se flexionara la pata hacia el eje del puente, y en todo caso aplicarle al puntal una fuerza hacia afuera que coloque a la pierna en la posición teórica de proyecto, el avance en la construcción del pilón queda limitado a no más de 36.50 m.

## XIX REUNIÓN NACIONAL DE INGENIERÍA DE VÍAS TERRESTRES “MOVILIDAD, FACTOR DETONANTE PARA EL PROGRESO DE MÉXICO”

arriba de la rasante, sin haber colocado el segundo puntal, en esta fase procedimos a colar las losas que van apoyadas sobre la trabe longitudinal y las piezas de puente.



**FIGURA 9. Construcción de dobles volados en pilas 5 y 6**

Estas fueron transportadas en carritos sobre rieles colocados sobre los cajones del doble voladizo; en todos los casos y en cualquier parte del puente, se hace la aclaración de que las losas fueron coladas en sitio, usando perfiles monten entre piezas de puente como cimbra perdida.

### 1.8. CONSTRUCCIÓN DE DOVELAS EN CLARO CENTRAL

Construcción de las dovelas de concreto en claro central y colocación de tirantes provisionales

### 1.9. CONCLUSIÓN DE DOVELAS DE CONCRETO EN CLARO CENTRAL

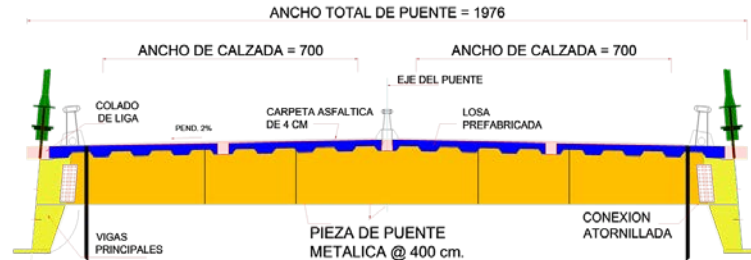
El avance en voladizo que se había suspendido del pilón 5 hacia 6 y del pilón 6 hacia 5, se continuó para colar las dovelas D8 y D9. A continuación se instaló el tirante T1 a la izquierda y a la derecha del pilón 5 y 6, que se ancla en la dovela D4 del tramo 4 - 5 y D9 del tramo 5 - 6 y para el pilón 6 en la dovela D9 del tramo 6 - 5 y D4 del tramo 7 - 6 a este tirante T1 se le aplicó la tensión inicial especificada en el documento del proyecto correspondiente, a continuación se procedió a montar las piezas de puente correspondientes a los tramos pilón 5 hasta dovela D9 en voladizo hacia 6 y de igual manera en el pilón 6, el tramo 6 - 7 y su zona en voladizo hacia el pilón 5, hasta la dovela D9. Como en los casos anteriores también se colaron las losas en sitio y el acero de refuerzo correspondiente, para finalmente realizar el colado de las mismas. Posteriormente a la instalación del tirante T1 se llevó a cabo el colado de la dovela D10 alojando en estos la placa de conexión para la dovela metálica en ambos pilones 5 y 6.

### 1.10. CONSTRUCCIÓN DE DOVELAS METÁLICAS EN CLARO CENTRAL

A partir de esta fase la superestructura de concreto cambió a ser de acero para formar dovelas de 12 metros, con 2 vigas extremas longitudinales de 12 metros, 3 traveses (piezas puente) transversales de 20 metros, con losa de concreto en el piso de rodamiento, así como un tirante por cada módulo de doce metros según se muestra en FIGURA 10.



**XIX REUNIÓN NACIONAL DE INGENIERÍA DE VÍAS TERRESTRES  
“MOVILIDAD, FACTOR DETONANTE PARA EL PROGRESO DE MÉXICO”**



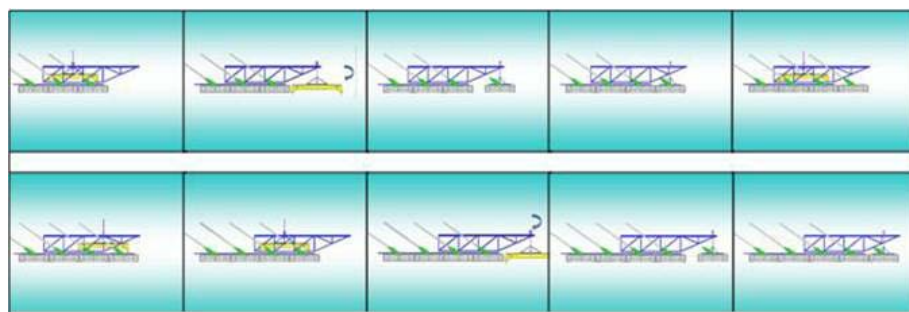
**DOVELA METALICA**

SECCION TRANSVERSAL

**FIGURA 10. Dovela metálica**

El ciclo de construcción descrito brevemente sería (FIGURA 11):

- Se colocó individualmente cada viga de doce metros de la dovela longitudinal.
- Se verificó el alineamiento y nivelación de la pieza.
- Se colocaron las piezas de puente transversales (3) conectadas a las vigas.
- Se colocaron largueros y se checaron los torques de todos los tornillos.
- Se enganchó la dovela metálica al dispositivo de lanzado.
- Se transportó por el interior de la viga lanzadora y al llegar al extremo fue girada la dovela y ubicada en posición.
- Se atornilló y se checó el torque.
- Se instaló el tirante N+1
- Se dio tensión inicial al 30% de la fuerza.
- Se colocó perfil monten.
- Se armó la losa y fue colada.
- Una vez obtenido el 80% del “F’c” del concreto se complementó el tensado del tirante al 100% de su fuerza correspondiente.



**FIGURA 11. Colocación de dovela metálica en claro central**

**1.11. CIERRE DE CLARO CENTRAL**

Realizado lo anterior se desplazó el equipo de montaje a la posición del siguiente ciclo y se acercaron los elementos para sujeción. Esto se repitió sucesivamente hasta lograr el montaje del tirante T19.

Se realizó el cierre de tramo 5 - 6, montando los elementos de la dovela de cierre:

## **XIX REUNIÓN NACIONAL DE INGENIERÍA DE VÍAS TERRESTRES “MOVILIDAD, FACTOR DETONANTE PARA EL PROGRESO DE MÉXICO”**

- Trabe extrema de un metro de longitud.
- Colocación del acero de refuerzo de la losa
- Se efectuó el colado de la misma.

### **1.12. MONTAJE DE TIRANTES Y DESCRIPCIÓN DE ELEMENTOS.**

#### **1.12.1. Componentes de los Tirantes.**

El sistema de tirantes está constituido de torones tensados entre los pilones y el tablero. Cada conjunto de torones constituyen un tirante estando protegido por un ducto “pead” al cual se refiere como vaina. Los torones sujetan las cargas del tablero del puente y las transmiten a los pilones por medio de los anclajes en cada extremo.

- Torones.- Se utilizaron torones de 5/8” de diámetro formados por 7 hilos, límite de relajación 1770 mpa, galvanizados, revestidos con vaina de “pead”.
- Anclajes de tirantes.- Se ocuparon anclajes de tipo 6-22, 6-31, 6-37 y 6-43. los anclajes ajustables (activos) están situados en los pilones. los anclajes pasivos están en el tablero.
- Vainas.- Ensamble de elementos de aproximadamente 11.8 m de ducto de “pead”, unidos por termo fusión y contando con manga de expansión al nivel del pilón y elemento de conexión al tubo anti-vandalismo al tablero. el diámetro de vainas varía de 160 mm a 200 mm.

#### **1.12.2. Equipos y Herramientas.**

La instalación de los tirantes se desarrolló según el método “strand by strand”. Este método requiere los recursos (figura 16) descritos a continuación. Se presentan solamente los principales equipos necesarios para la instalación de los tirantes.

- Grúas Torre.- Para levantar la vaina y amarrarla en la configuración requerida para la instalación de los torones.
- Soldadora de Ductos.- Para la fabricación de la vaina, se sueldan elementos de aproximadamente 11.8 m de largo conocido como termo fusión.
- Huinches.- Ubicados dentro de los pilones, se usaron para izar los torones desde los dispensadores situados en el tablero, dentro de la vaina, hacia los anclajes del pilón.
- Equipos de tensado.- Una vez que el torón fue instalado en sus dos anclajes, fue aplicada la fuerza requerida por medio del sistema de isotensión. Este equipo se compone de un Gato Hidráulico monotorón, una Bomba Hidráulica con manómetro y una célula de control (FIGURA 12).
- Equipo para inyección de los anclajes.- Por medio de dos bombas (presión y vacío) y un calentador, se inyectó cera en los anclajes de tirantes, después de terminada su instalación.

## XIX REUNIÓN NACIONAL DE INGENIERÍA DE VÍAS TERRESTRES “MOVILIDAD, FACTOR DETONANTE PARA EL PROGRESO DE MÉXICO”

- Equipo para clavado de cuñas.- Esta operación se realizó con un gato hidráulico, se empujaron las cuñas dentro de los anclajes para prevenir el deslizamiento de los torones.



**FIGURA 12. Equipo y herramienta**

### 1.12.3. Procedimiento de instalación de los tirantes.

A continuación describe de manera general el procedimiento de instalación de los tirantes para una comprensión global de la operación. Cada fase de dicha operación se encuentra más detallada en los procedimientos particulares referenciados a continuación:

Secuencia general de la operación de instalación de los tirantes.- La operación de instalación de los tirantes se completa en dos fases.

- Fase 1.- Instalación inicial de los tirantes.- Para la instalación inicial de los tirantes “n” durante el doble voladizo, la secuencia general de la operación se describe en el diagrama siguiente:

Estado inicial:

- Al tablero y al pilón: La instalación de los tirantes (n-1) está terminada.
- En el tablero de concreto: Las dovelas de los tirantes “n” están en condición adecuada (el concreto alcanzó una resistencia suficiente, no existen interferencias entre carros de colados o encofrados y tirantes, todos los equipos y material necesarios están instalados en posición correcta).
- Al tablero metálico: Las dovelas metálicas están correctamente montadas y el tablero esta en condición adecuada para instalación de los tirantes.
- Al pilón: La zona de los anclajes de los tirantes “n” esta en condición adecuada (el concreto alcanzo una resistencia suficiente, no existen interferencias entre encofrados y equipos para instalación de los tirantes, las plataformas de trabajo están listas).

- Fase 2.- Puesta en configuración final de los tirantes.- Una vez que la estructura cuenta con todas las cargas permanentes (pavimentos, parapetos, etc.) empieza la operación de puesta en configuración final de los tirantes, cuya secuencia describiré a continuación.

## XIX REUNIÓN NACIONAL DE INGENIERÍA DE VÍAS TERRESTRES “MOVILIDAD, FACTOR DETONANTE PARA EL PROGRESO DE MÉXICO”

Estado inicial:

- El tablero está terminado (incluido pt exterior).
- Cargas permanentes en estructura.

### 1.12.4. Anclajes de tirantes

Los anclajes de tirantes son prefabricados y ensamblados en un taller especializado.

- Al pilón:- Los anclajes fueron instalados una vez que la construcción del pilón lo permitió, sin relación con la construcción del tablero.
- Al tablero de concreto:- La instalación de los anclajes fue incluida en el ciclo de construcción del tablero en doble voladizo.
- Al tablero metálico:- Los anclajes son instalados en las dovelas metálicas después del montaje de las vigas longitudinales.

### 1.12.4. Fabricación de Vainas

Las vainas fueron fabricadas a partir de elementos de aproximadamente de 12 metros de largo. Estos elementos son soldados juntos en una zona reservada del tablero. El primer torón (master strand) está instalado dentro de la vaina. Las vainas terminadas son almacenadas en el tablero hasta su instalación.

Las vainas fueron instaladas en la configuración requerida para la instalación de torones por medio de las grúas torres de los pilones (FIGURA 13). La grúa es desconectada una vez que la vaina este amarrada al pilón y el tablero con tecles/eslingas.



FIGURA 13. Instalación de vainas

### 1.12.4. Instalación de torones

El primer torón de cada tirante se instala junto con la vaina (FIGURA 14). Los siguientes se instalan según el método “strand by strand”. Por medio de huinches, ubicados en los pilones, se izan los torones uno por uno desde los dispensadores situados en el tablero, dentro de la vaina, hacia los anclajes del pilón. Una vez que el torón haya pasado en sus dos anclajes, se aplica la fuerza especificada por medio de un gato hidráulico.

**XIX REUNIÓN NACIONAL DE INGENIERÍA DE VÍAS TERRESTRES  
“MOVILIDAD, FACTOR DETONANTE PARA EL PROGRESO DE MÉXICO”**



**FIGURA 14. Instalación de torones**

El tensado de los torones se hace en tres etapas:

- Tensado inicial:- Después del colado de las dovelas de concreto y montaje de las piezas puente, o después del montaje de las dovelas metálicas y de las piezas puente, pero antes de la instalación de las losas de tablero.
- Tensado intermedio:- Después de la instalación de las losas del tablero, durante la construcción del tablero en doble volado, pero antes de iniciar los trabajos en la dovela siguiente.
- Tensado final:- Cuando el tablero este terminado (incluyendo pt externo) y que la estructura cuente con todas las cargas permanentes.

La secuencia de instalación de los torones de tirantes es la descrita a continuación. Se refiere al conjunto de 4 tirantes anclados en el pilón a la misma altura como grupo de tirantes (2 lados tierra, 2 lado agua, cada lado dividido en dos bordes: exterior e interior del tablero):

- En cada borde del tablero, se instalan los torones del grupo de tirantes en secuencia alterna entre lado agua y lado tierra del pilón (1 torón – 1 torón).
- La etapa de tensado inicial debe completarse para los bordes interior y exterior del tablero antes de iniciar la etapa de tensado intermedio.

**1.12.5. Amortiguadores, puntas cortadas y cuñas.**

- Amortiguadores.- Estos elementos se instalan después de terminar la fase de ajuste final de las fuerzas de los tirantes (FIGURA 15).
- Clavado de cuñas.- Con un gato hidráulico se empujan las cuñas dentro de los anclajes para prevenir el deslizamiento de los torones.
- Del lado pasivo del tirante. Esta operación se realiza después de terminar la fase 1 de instalación de los tirantes. del lado activo se hace una vez que se haya completado el ajuste final de las fuerzas de los tirantes.
- Protección final de los tirantes.- La protección final consiste en todos los trabajos necesarios para garantizar una protección a largo plazo de los tirantes contra las agresiones del medio exterior.
  - Corte de la punta de los torones.
  - Instalación de las tapas protectoras en los anclajes.
  - Inyección de cera en los anclajes.
  - Cierre de las vainas.

## XIX REUNIÓN NACIONAL DE INGENIERÍA DE VÍAS TERRESTRES “MOVILIDAD, FACTOR DETONANTE PARA EL PROGRESO DE MÉXICO”



FIGURA 15. Amortiguadores

### 1.13. TRABAJOS FINALES

Se desmontan los equipos de colocación de traves longitudinales y piezas de puente y se procede a construir guarniciones, parapetos y carpeta asfáltica en la losa de rodamiento.

### 1.14. INSPECCIÓN DE ELEMENTOS

Inspeccionar todos los elementos del puente para verificar las buenas condiciones para la entrada en servicio del puente (FIGURA 16).



FIGURA 16. Inspección final del puente

## CONCLUSIONES

El Puente Baluarte es la estructura atirantada con el claro principal más grande en América Latina, los Record Guinness lo reconocen como el puente atirantado más alto del mundo y sin lugar a dudas el más espectacular y fascinante en su proceso constructivo.

Julio 2012