



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOMÁTICA
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIÓN**

ESPECIALIDAD EN CONSTRUCCIÓN PESADA

**RESTAURACIÓN DE EMERGENCIA DE LA
AUTOPISTA VERACRUZ – MÉXICO.
Sustitución de emergencia de obra de drenaje con
sistema de Bóveda TechSPAN®**

**TESIS PROFESIONAL
para obtener el grado de**

**ESPECIALISTA EN
CONSTRUCCIÓN PESADA**

PRESENTA:

Ing. Manuel Alejandro Baizabal Rendón

DIRECTOR DE TESIS :

M.I. Marco Tulio Mendoza Rosas

Ciudad Universitaria, México, Agosto 2012



ÍNDICE.

- 1) Antecedentes de la falla del terraplén de la autopista.
 - 1.1. Condiciones de falla.
 - 1.2. Definición de la problemática y condiciones de operación.
- 2) Alternativas de solución.
 - 2.1 Bóveda auto hincada.
 - 2.2 Muro mecánicamente estabilizado.
- 3) Proceso constructivo.
 - 3.1 Desvío de tráfico.
 - 3.2 Hincado de tabla estaca metálica.
 - 3.3 Excavación, estabilización y revestimiento.
 - 3.4 Mejoramiento de suelo a nivel de desplante de cimentación.
 - 3.5 Construcción de cimentación.
 - 3.6 Relleno de bóveda mecánicamente estabilizado.
 - 3.7 Excavación en cuerpo "B".
 - 3.8 Acoplamiento de bóvedas.
 - 3.9 Protección de talud del terraplén con concreto lanzado.
 - 3.10 Cancelación de antigua alcantarilla con relleno fluido.
- 4) Sistema de bóveda TECHspan®.
 - 4.1 Prefabricación y transporte.
 - 4.1.1 Patio de prefabricados.
 - 4.1.2 Fabricación.
 - 4.1.3 Carga y transporte.
 - 4.2 Montaje.
- 5) Conclusiones.
- 6) Bibliografía.

OBJETIVO.

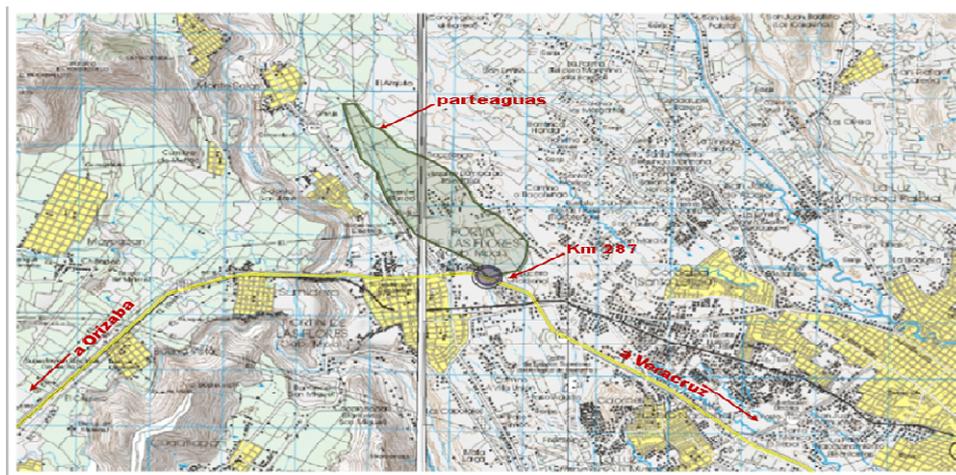
El presente trabajo pretende dar a conocer el sistema constructivo utilizado en el proyecto denominado “*Sustitución de emergencia de alcantarilla sobre la autopista Puebla – Veracruz, tramo Cd. Mendoza – Córdoba, km 286+952*” en el municipio de Fortín de las Flores, Veracruz; con la finalidad de que el lector conozca las generalidades del sistema de bóveda prefabricada TECHspan® y logre entender las ventajas de este producto sobre métodos convencionales de construcción y pueda aprovecharle en la implementación de nuevos proyectos. Así como poder dar una visión general sobre las características del proyecto en mención, a fin de dar a entender el proceso de sustitución y todas las particularidades de una obra de esta magnitud.

1. ANTECEDENTES DE LA FALLA DEL TERRAPLÉN DE LA AUTOPISTA.

1.1 CONDICIONES DE FALLA.

En la localidad de Fortín de las Flores, Ver; un sistema de tormenta sucedido en febrero del 2009 causo un caudal extraordinario sobre el río Fortín (ver graf.1a.1). Este cuerpo de agua cruza la autopista Veracruz – México en el km 286+950 atreves de una alcantarilla de lámina acanalada de diámetro 1.80mts. La avenida extraordinaria superó por mucho la capacidad hidráulica de la alcantarilla, produciendo un remanso en el cauce aguas arriba de la autopista. El remanso terminó por azolvar el tubo y, consecuentemente, elevó el tirante del río hasta llegar al terraplén de la estructura de terracería, saturando el material de la base y reblandeciéndolo. Al paso de los vehículos y en esas condiciones de humedad el terraplén falló en un plano que atravesaba transversalmente los dos carriles del cuerpo “A”, dirección México – Veracruz. El camino guarda las características geométricas designadas para una vía “A4”, camino de cuatro carrieles cada uno de 3.50mts con acotamiento en el hombro derecho de 2.50mts y en el izquierdo de 0.50mts, en dos cuerpo separados sin tener interferencia entre ellos.

Esta afectación interrumpió por completo el tránsito sobre la autopista, siendo necesario replantear el tráfico sobre el cuerpo que se mantenía estable, viéndose alterada la funcionalidad de la vía. Las consecuencias económicas y sociales fueron inmediatas, lo que obligó a la operadora de la autopista a actuar con carácter de emergencia. El operador de la autopista restituyó el talud de manera provisional, pero sería necesario dar solución a las condiciones hidráulicas que superaron las capacidades de diseño de la alcantarilla actual.



Graf. 1a.1 CUENCA HIDROLÓGICA FORTÍN.

1.2 DEFINICIÓN DE LA PROBLEMÁTICA Y CONDICIONES DE OPERACIÓN.

Atendiendo a las necesidades de operatividad de la autopista, la solución debía de obedecer prioritariamente para sus procesos, además de la integridad estructural y las competencias hidráulicas, los dos siguientes aspectos:

- La menor afectación al tráfico. Ésta vía es la tercera con mayor aforo vehicular en el país.
- Otorgar máxima seguridad al usuario. Estadísticamente, la autopista México-Puebla-Veracruz es de las mayormente siniestradas. Tiene un aforo de alrededor de 100 mil vehículos diarios.

Al respecto de la solución geométrica de la nueva obra hidráulica, debía de hacerse una reconsideración del gasto de diseño según las nuevas condiciones hidrológicas, resultando evidentemente en el aumento de la sección hidráulica de la alcantarilla.

Para tal fin, considerando las condiciones de operatividad de la autopista y las nuevas competencias hidráulicas, se consideraron tres alternativas para ser evaluadas en términos de costo beneficio. Todas ellas contemplando la solución estructural con el sistema de Bóveda TECHspan®, variando el procedimiento constructivo.

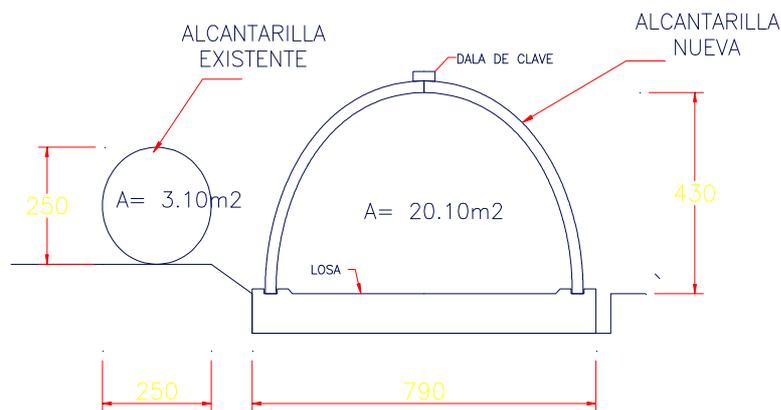


FOTO 1b.1 Plano general de la falla sobre el cuerpo B de la autopista Veracruz – México km 286+950.

2. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.

El sistema de bóveda TECHSpan® consiste en una bóveda prefabricada triarticulada constituida por dovelas prefabricadas que montadas en pares forman el marco de la bóveda.

Cada estructura TECHSpan® se diseña estructural y geoméricamente para cada caso basándose en las características específicas del proyecto, como son la longitud del claro, el tipo de suelo y los requerimientos en la secuencia de construcción. Los métodos utilizados definen con exactitud el radio de curva del arco para minimizar lo esfuerzos de tensión. La eficiencia y economía del diseño de arco TECHSpan® aumenta progresivamente conforme el relleno en la clave del arco aumenta. Una vez terminada la fase de diseño, las dovelas de concreto precolado se forman en base a una geometría definida por medio de sofisticadas técnicas de prefabricado, desarrolladas en Europa y Norte América por el Grupo Tierra Armada Internacional™.



Graf. 2.1 Área hidráulica de bóveda original y nueva.

Cada dovela consta de una sección de medio arco, cuyo ancho varía entre 1.0 y 2.45m (dependiendo de cada proyecto). Cada dovela terminada se inspecciona cuidadosamente para asegurar que cumpla con la definición exacta del diseño geométrico.

Existen distintas opciones de cimentación, dependiendo de las características del proyecto y de la obra:

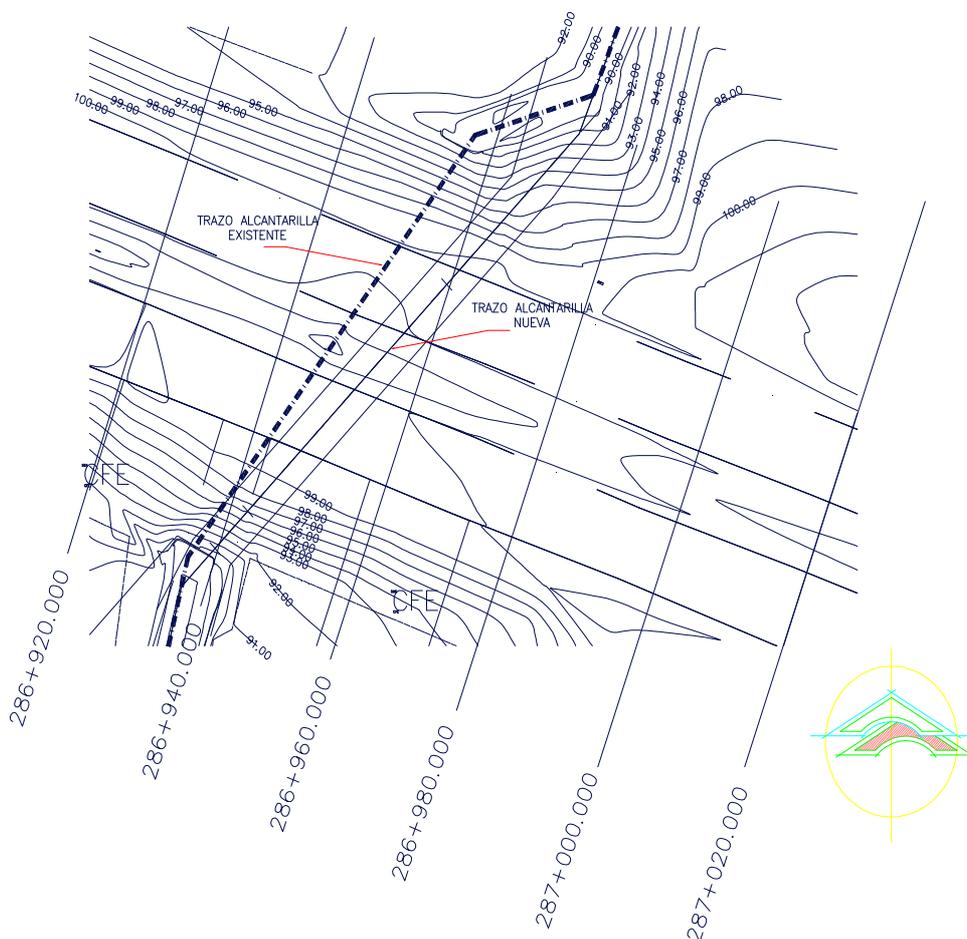
- Zapatas corridas independientes con pedestal.
- Zapatas corridas independientes.
- Losa de cimentación.
- Con cabezal para cimentación profunda.

Un equipo de trabajo de tres personas con una grúa de 30 toneladas puede construir usualmente de 15 a 25 m diarios de bóveda TechSpan®, dependiendo de las dimensiones específicas del proyecto. Siguiendo los trabajos de excavación y terracería, se cuela en sitio cimientos paralelos con una llave en la parte superior. Las secciones inferiores de los paneles del arco entran en la llave de los cimientos quedando asegurados. La primera dovela del arco se sostiene en su sitio por medio de una grúa o de un dispositivo de retención temporal o por un caballete de apoyo ajustado al gálibo de la bóveda.

La segunda es colocada en el cimiento contrario. Los dos paneles se apoyan entre sí en la parte superior por medio de un sistema de machihembrado.

El uso de una dovela de medio ancho para cada extremo crea un sistema de seguro donde cada panel se apoya en dos piezas contrarias en la configuración final. Las juntas de los paneles van selladas con un textil y un sellador impermeable antes de que se coloque el relleno.

El relleno de la bóveda obedece a especificaciones de filtro, y el procedimiento de colocación debe ser cuidadoso para garantizar la eficiencia del sistema completo.

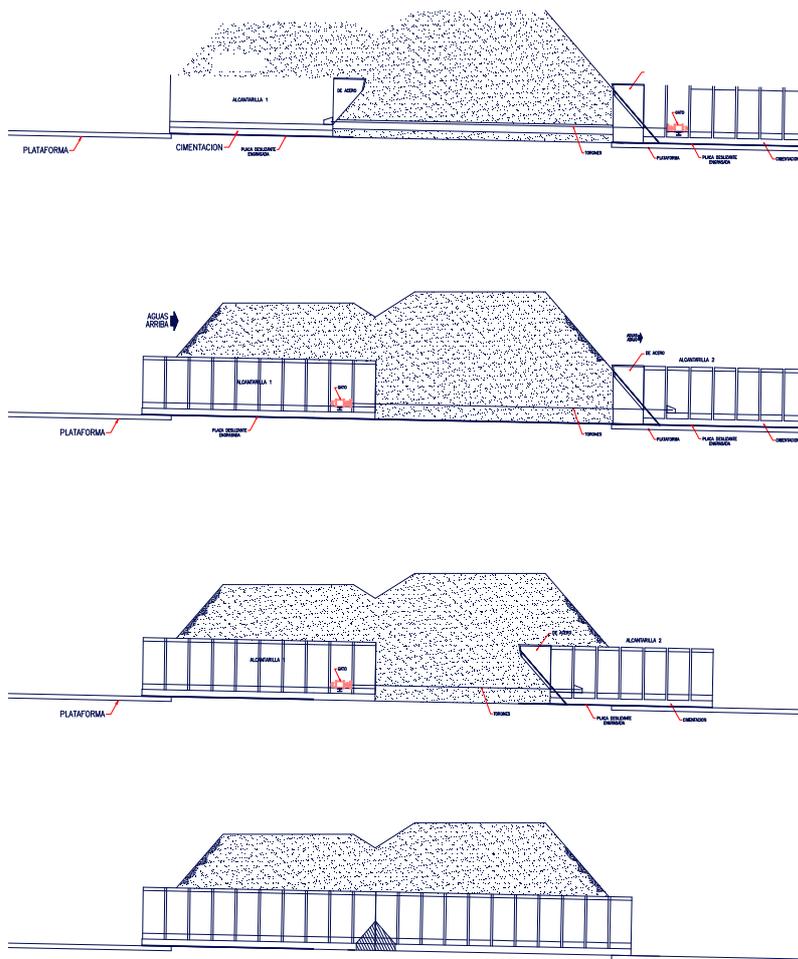


Graf. 2.2 Trazo de la alcantarilla y de la nueva bóveda a construir.

2.1 BÓVEDA TECHSPAN® AUTO HINCADA.

La denominación de Bóveda TECHspan® Auto Hincada refiere al sistema estructural de bóveda anteriormente descrito, con la particularidad de ser construido totalmente a un costado del trazo de la bóveda, para posteriormente ser empujado a través del terraplén con apoyo de equipo hidráulico de alta calificación.

La implementación de éste proceso requiere de instalación de obras secundarias para la instalación del sistema. Se debería de preparar el área subyacente a la alcantarilla existente para dar un firme de trabajo donde montar la bóveda, además de la ubicación de un muro de reacción para dar a poyo a los gatos de empuje y los rieles sobre los que correría la estructura.



Graf. 2.3 ESQUEMA DE PROCEDIMIENTO DE UNA BÓVEDA AUTOHINCADA.

El procedimiento se muestra beneficioso sobre la prioridad de dar confort y seguridad al usuario de la autopista, ya que la sustitución de la alcantarilla nunca afecta la operación de la vía; solo así al iniciar el hincado y por razones de seguridad ante la posibilidad de que el terraplén fuera desestabilizado eventualmente, razón por la cual el inicio del procedimiento se preferiría en un horario con poco aforo vehicular.

La valoración de las primordiales causas de aceptación o desecamiento de esta alternativa obedecen primeramente a la evaluación de los siguientes motivos:

Valoración de implementación del procedimiento de Bóveda TECHspan® Auto Hincada	
VENTAJAS	DESVENTAJAS
Rapidez del proceso.	Instalaciones provisionales.
Mínima alteración de la operación en la autopista.	Preparación del área de montaje.
Comodidad al usuario.	Construcción de accesos.
	Solo se podrá trabajar en época de estiaje.
	Costo.
	Invasión de terreno fuera del derecho de vía.

Esta alternativa fue descartada debido a la prioridad por atender los trabajos, haciendo imposible esperar la contratación y proyección de la obra, así como del habilitado del equipo hidráulico de empuje.

2.2 MURO MECÁNICAMENTE ESTABILIZADO.

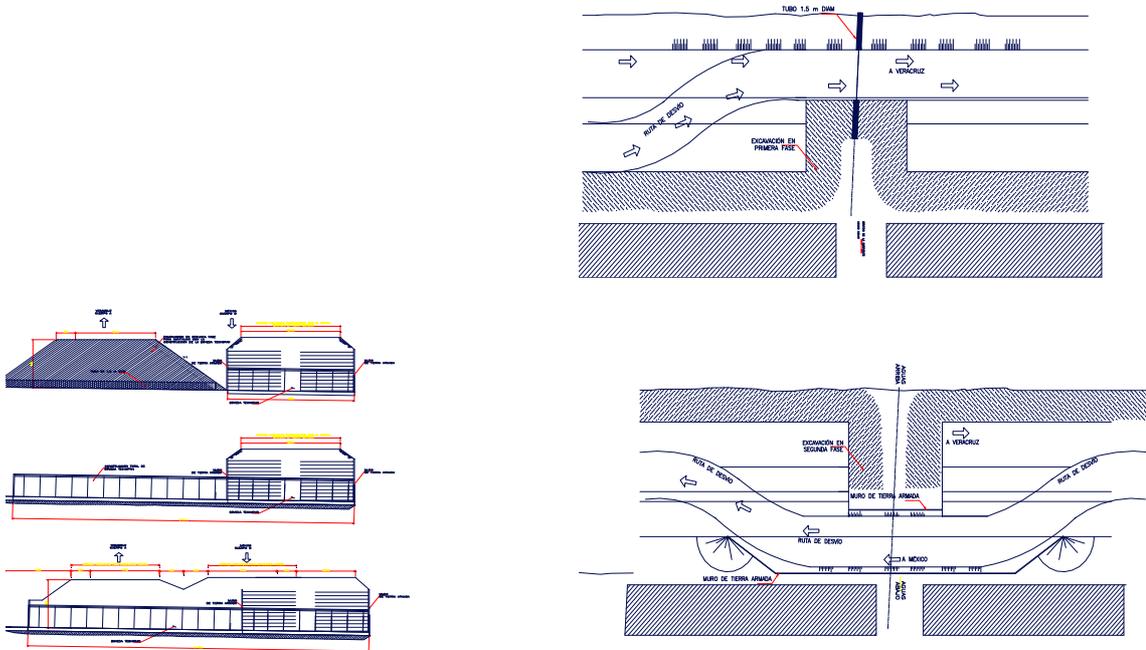
Descartada la idea de poder introducir una bóveda auto hincada, se hace ineludible tener que escavar el terraplén para lograr la sustitución de la alcantarilla. A este respecto el movimiento de tierras adquiere una gran relevancia para el éxito del proyecto.

Teniendo por prioridad la operatividad y seguridad de la autopista, el procedimiento de excavación en el terraplén para la construcción de la nueva alcantarilla debe de permitir mantener la geometría del camino a modo. El problema es que con la altura del terraplén, para lograr mantener el nivel de rasante se tendría que adecuar terracerías con un pateo muy alargado sobre el cauce del río, igualmente, al zanjar transversalmente el camino hasta el nivel de desplante de la nueva alcantarilla el terraplén queda desestabilizado, naturalmente.

Previniendo lo anterior, se contempla el uso de un muro mecánicamente estabilizado que operará durante el proceso de construcción de la bóveda, logrando con él mantener la geometría del camino con gran economía de espacio en el cuerpo del terraplén.

El macizo mecánicamente estabilizados consisten en armaduras dispuestas a intervalos regulares en el terraplén, las cuales confinan los granos de tierra entre sí gracias a su fricción. El terraplén reforzado de esta manera se convierte en su propia estructura de soporte. Esta técnica ha permitido, desde hace más de treinta años, superar las limitantes del muro de contención tradicional, obteniendo grandes ventajas:

- Economía y mayor vida útil en servicio.
- Rapidez de ejecución.
- Preservación del lugar de la obra.
- Gran resistencia a esfuerzos estáticos y dinámicos.
- Estética.
- Absorción de asentamientos diferenciales.



Graf. 2.4 ESQUEMA DE PROCEDIMIENTO DE UNA BÓVEDA CONSTRUIDA CON MURO MECÁNICAMENTE ESTABILIZADO.

En el gráfico Graf. 2.4 se observa esquemáticamente el procedimiento, distinguiendo la utilidad del muro al procurar la estructura del camino para dar paso en una segunda etapa de construcción de la bóveda. El muro es provisional mientras se está en proceso el montaje, quedando enterrado al restituir los terraplenes de los dos cuerpos para alojar los cuatro carriles de la vía.

Valoración de implementación del procedimiento de Bóveda TECHspan® Auto Hincada	
VENTAJAS	DESVENTAJAS
Rapidez del proceso.	Costo
Alteración tolerable de la operación en la autopista.	Proyecto de desvío de tránsito requerido.
Evita obras inferidas.	Por procedimiento se alarga al bóveda innecesariamente.
Mínima alteración de la estructura existente de la vía.	

Esta alternativa sopesaba mayor ventaja sobre la anterior, y sobre la opción de construir la bóveda convencionalmente con excavación a cielo abierto (método que se resolvió al final, como se explicará en el siguiente capítulo), sin embargo, posterior a la reparación de CAPUFE se repitió el fenómeno causando los mismos estragos sobre la vía, lo que obligo a la dependencia a tomar acciones inmediatas sobre la solución definitiva, apresurando a la contratación del proyecto en calidad de obra de emergencia y adecuando el procedimiento a la condición de falla existente.

3. PROCESO CONSTRUCTIVO.

El inicio de los trabajos de sustitución de la alcantarilla apuró luego de que la precaria restitución del terraplén fuera afectada tras otra precipitación extraordinaria resultando en una falla de la misma naturaleza de la anterior. Siendo esta la situación, CAPUFE accionó el plan de atención de emergencia, solicitando a Freyssinet de México y Constructora Nacional la inmediata atención de la situación, obligando a empezar con los recursos disponibles descartado la posibilidad de hacer los preparativos que requerirían las alternativas presentadas anteriormente. Así, partiendo del proyecto original, se dio inicio a la construcción de una bóveda para sustitución de la alcantarilla existente, excavando sobre el terraplén hasta el nivel de desplante y estabilizando con bermas y tabla estaca metálica. Se atacaría cada cuerpo, aguas abajo y aguas arriba, alternadamente para mantener siempre tres carriles abiertos a la circulación (el tercer carril se conformaría sobre el área de transición entre los cuerpos, una vez que estuviera hincada la tabla estaca).

Con el objeto de poder alojar la alcantarilla existente en el cpo A, en la primera una vez que se realizó la excavación hay que retirar parte de la alcantarilla existente para esto se deberá construir una caja a partir del cadenamiento 477.519 al cadenamiento 481.086 de 3.57 x 6.10 m con el objeto de desviar el agua que actualmente escurre por la alcantarilla para poder alojar la alcantarilla de proyecto.

Se propone además colocar una tubería a la salida de esta caja de 2.5 m de diámetro paralela a la existente a una distancia de 3.60 m entre ejes de ambas tuberías para llevar el agua de manera provisional, mientras se construye la nueva alcantarilla.

Esta tubería provisional tendrá la misma pendiente que la alcantarilla existente y llegará hasta el cauce del arrollo. A continuación se describe el proceso constructivo para la sustitución de emergencia de alcantarilla, en el anexo “Descripción general de procedimiento constructivo”.

3.1 DESVÍO DE TRÁFICO.

La primera tarea a ejecutar es la de dar continuidad al tráfico en la autopista de manera segura. Se realiza un proyecto de desvío de tráfico, de acuerdo a la norma SCT N-CTR-CAR-1-07-016-00 referente a “señalamientos y dispositivos de protección en obra”, y considerando los criterios de diseño del “Manual para diseño geométrico de carreteras”. La relevancia del proyecto de desvío de tráfico estriba en brindarle al usuario la máxima seguridad en su trayecto sobre la vía en reparación. La norma especifica los criterios de aceptación de los dispositivos empleados y el criterio de diseño será en base a la especificación y geometría del camino, la velocidad de proyecto, la visibilidad y el tránsito diario promedio anual.

Es importante tener en cuenta que CAPUFE tiene estrictamente prohibido en su normatividad cualquier trabajo dentro del derecho de vía para los fines de semana, días festivos y periodos vacacionales, teniendo estos establecidos desacuerdo al diario oficial de la federación que para tal efecto emite la lista de días no hábiles cada año.

En la práctica debe de tenerse considerado dos cuadrillas de bandereros equipados y adiestrados para dos turnos, que serán por lo menos de una pareja cada una y tan grades como se considere para el eficiente manejo, colocación, retiro y cuidado del señalamiento. Además se tendrán preparados sistemas de iluminación auxiliar y todo lo necesario para su funcionamiento continuo. También se debe considerar la reposición de señalamiento, a modo de que éste cumpla cabalmente con lo dispuesto en la norma y se mantenga completo y en buenas condiciones permanentemente.

Durante el desarrollo de los trabajos fueron efectuadas varias maniobras para la carga y descarga de maquinaria pesada y piezas prefabricadas. Cada una fue previamente estudiada, calculando el impacto sobre el tráfico y anticipando las afectaciones. Para tal fin se le da conocimiento a la residencia de conservación del tramo, directamente dependiente de CAPUFE, y a la autoridad federal policial de jurisdicción local.

Se guarda el mismo criterio durante el desarrollo de los trabajo para los dispositivos de protección de obra ubicados en el patio de prefabricados (se describe en el apartado 4.a.i), guardando las debidas particularidades.

En todos los casos existió una consideración especial para el manejo de dispositivos de seguridad y la implementación de políticas de seguridad en obra, dadas las condiciones de gran aforo vehicular y la operación dentro del limitado espacio seguro, que resultaba muchas veces escaso para la cantidad de maquinaria y elementos prefabricados en estiba, a demás del personal de obra, bodega, y área de maniobras. Junto con el proyecto de desvío de tráfico, en obra se debió de resolver la implementación de procesos seguros dentro del área confinada.

3.2 HINCADO DE TABLA ESTACA.

Antes de iniciar la excavación se coloca una tablestaca metálica de perfil AZ-26, de fabricación extranjera, hincada por medios de vibración (foto 3.2) con perforación previa que contendrá el talud hasta 18mts. Teniendo los estudios previos se decide por el diseño de la tabla estaca para facilitar un paramento seguro e inflexible para alojar los carriles que permanecerán en funcionamiento. Es de primordial interés para instalar los carriles para el desvío sobre una estructura de terraplén provisional que sea apta para tolerar el tráfico intenso y no sufra deformaciones durante la ejecución de la

excavación, que pudieran llevarla a un estado de falla de servicio. La tabla estaca, y toda la infraestructura de estabilización de taludes, se plantean como una instalación provisional que quedará perdida.

Los sondeos de los estudios previos se ubicaron sobre el terraplén, para tener certeza del material a excavar. Se profundizaron hasta los 22mts, tan profundo como para obtener las propiedades del terreno donde se desplantaría la cimentación para la nueva bóveda. Se realizaron tres sondeos por el procedimiento de penetración estándar. La estratigrafía ubicó un estrato de aproximadamente 3 mts de graba limosa, por debajo de la carpeta, y por debajo de éste todo el material se pensaría que se constituiría por arcilla limosa hasta el nivel de desplante. La selección de la tabla estaca como método de ademado, se sopesó sobre la facilidad del proceso de hincado dado la prioridad a garantizar la estabilidad del cuerpo en operación. Para lograr hincar el perfil en el material friccione del terraplén, se perforó previamente con una perforadora Watson montada sobre una grúa sobre orugas, misma que cambiaría su herramienta para manipular e hincar la tabla estaca con ayuda de un martillo vibratorio eléctrico.



FOTO 3.1 PRIMER PLANO DE GRÚA EQUIPADA CON PERFORADORA.

La tablestaca queda empotrada 4.00 mts por debajo del nivel de desplante de la cimentación, con excepción del lugar donde se ubica la alcantarilla existente, que se mantendrá funcionando hasta tener terminada la bóveda que dará un replanteamiento del cauce y aumentará la sección hidráulica. Siendo entonces que la proyección del diámetro de la alcantarilla sobre la tabla estaca hacia arriba en el terraplén quedará en libre de empotramiento sujeto únicamente por el engargolado con los perfiles adyacentes, para lo cual se reforzará la tabla estaca con vigas madrinas canal 8", armadas y colocadas en sitio con soldadura de chaflán hecha en obra, de las cuales se anclarán tirantes que aportarán resistencia al volteo de la tabla estaca. Los tirantes se sujetan a bloques de anclaje prefabricados de concreto reforzado al otro lado del terraplén (ver anexo ANCLAS TENSORES), equipados cada uno con un

bloque de anclaje (de sistema de preesfuerzo) 7k13, y placa de apoyo de acero estructural A56 150x150mm, en un ducto PAD liso de 3" equipado con cinco hilos de torón $\varnothing 13$.



FOTO 3.2 VISTA DEL HINCADO DE LA TABLA ESTACA CON AYUDA DE MARTILLO VIBRATORIO.

En este caso, el tirante en la tabla estaca cumple una función análoga a la que cumpliría un ancla al suelo. La consideración especial en el diseño y denominación del elemento de arrastramiento estriba en la mecánica del sistema. A grandes rasgos, mientras el ancla activa penetra en el talud y se aferra por el bulbo a éste, actuando el bulbo como elemento a reacción para propiciar el tensado sobre el cable del ancla, difiere a la acción del tirante que es la de transmitir la fuerza del momento en la tabla estaca, llevándolos a través del mismo terraplén hacia al otro lado de la estructura de terracería a un bloque de anclaje que ayudará a sostener los esfuerzos de la tabla estaca.

Para la ubicación del bloque de anclaje sobre el otro lado del talud, se corta manualmente un nicho sobre el terraplén en el lugar exacto donde sale la perforación que guía el tirante, alojando ahí el bloque de anclaje prefabricado. La maniobra de colocación del bloque de anclaje es previamente estudiada (ver anexo ANCLAS Y TENSORES).

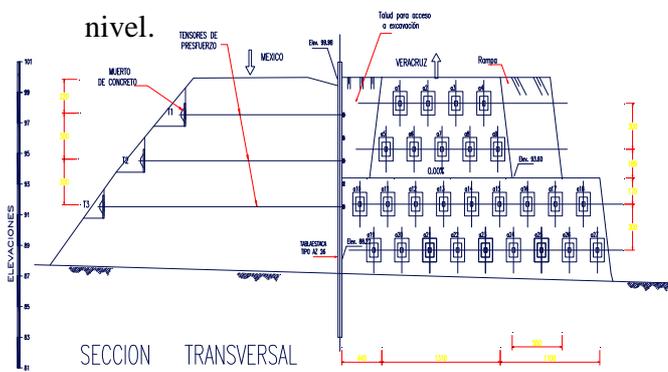
Nivel por nivel de excavación se irá colocando la viga madrina y tensando los tirantes para dejarla estable para soportar el empuje al ir profundizando. De igual manera en los cortes a los lados del zanjado, para ir colocando las anclas que soportarán el propio talud y la plataforma de operación de la grúa de montaje. Esta acción requirió de la coordinación eficiente de los trabajos de excavación y las cuadrillas de perforación, maniobristas, soldadura y tensado.

La premura de los trabajos obligó a avanzar rápido en obra sobre las entregas parciales del proyecto. De antemano se tenían estudios previos de la zona pero no podía dejarse posibilidad a errores que demoraran la obra. Así los factores de seguridad se tomaron al extremo de la posibilidad de falla, lo que

naturalmente condujo a sistemas de estabilización de excavación algo sobre estimados, y consecuentemente procesos contractivos arduos y apurados. Se echo mano de la técnica y experiencia para resolver rápido todo lo necesario para avanzar. No obstante la seguridad siempre fue prioridad, teniendo especial cuidado en todos los procesos concernientes a la estabilidad de taludes e integridad estructural. La combinación *rápido, eficiente y seguro* repercutió en el presupuesto de la obra, que a fin de cuentas quedó perfectamente justificado en la relación de costo beneficio por la importancia de la autopista.

3.3 EXCAVACIÓN, ESTABILIZACIÓN Y REVESTIMIENTO.

La excavación se llevó a cabo por medios convencionales, ahondando toda el área a un solo nivel por fase para dar tiempo a estabilizar los taludes y la tabla estaca antes de iniciar el siguiente (gráfico 3.1) nivel.



GRAF. 3.1 SECCIÓN TRANSVERSAL. ELEMENTOS DE ESTABILIZACIÓN DEL CORTE.

Una excavadora 320 con bote de 1.5yd^3 fue suficiente para dar el rendimiento necesario para cumplir con el programa. El proceso se realizó cavando desde el extremo opuesto a la tabla estaca hacia ella, dando tiempo así de que se realizaran las perforaciones para alojar los cables de los tirantes y soldar las vigas madrinas.

En cada nivel se dispuso sobre los taludes bloques de anclaje prefabricados de concreto, con un tocón al centro armado específicamente para tolerar el esfuerzo efecto del bloque de tensado que resistiría al esforzar el ancla. Los bloques prefabricados equipan a un ancla activa 5t13 de longitud variable (anexo ANCLAS Y TENSORES). El ancla genera un incremento de tensiones normales sobre la superficie de falla teórica, logrando un incremento a la resistencia cortante que ayuda a mantener la estabilidad en la masa de suelo. Estas anclas variarán para dos casos: las que sostendrán únicamente la masa de suelo en talud en el terraplén cortado, y las que sostendrán además de la masa de suelo también a la grúa de montaje y al camión de traspaleo de las dovelas prefabricadas. Los sistemas de anclaje proporcionan fuerzas externas para lograr la estabilidad de taludes, en este caso se utilizan como

complemento de en la estructura del terraplén para garantizar la estabilidad del mismo mientras se desarrollen los trabajos. Se selecciona este sistema como alternativa al uso de troqueles o puntales por su eficiencia, economía y practicidad. En este caso el sistema de anclaje resulta ventajoso ya que permite adaptarse a las condiciones geotécnicas particulares de la obra y ajustarse a circunstancias cambiantes durante el desarrollo del trabajo, además de ocupar menos espacio durante su instalación.

Los cortes sobre el talud obedecen en su geometría a la disposición de bermas para cortar los planos de falla, y al mismo tiempo a la ubicación del acceso y plataforma de operación que serán requeridas por la grúa de montaje. El proyecto contempla la operatividad de todas las fases en conjunto, anticipando así los requerimientos para cada etapa en el proceso precedente.

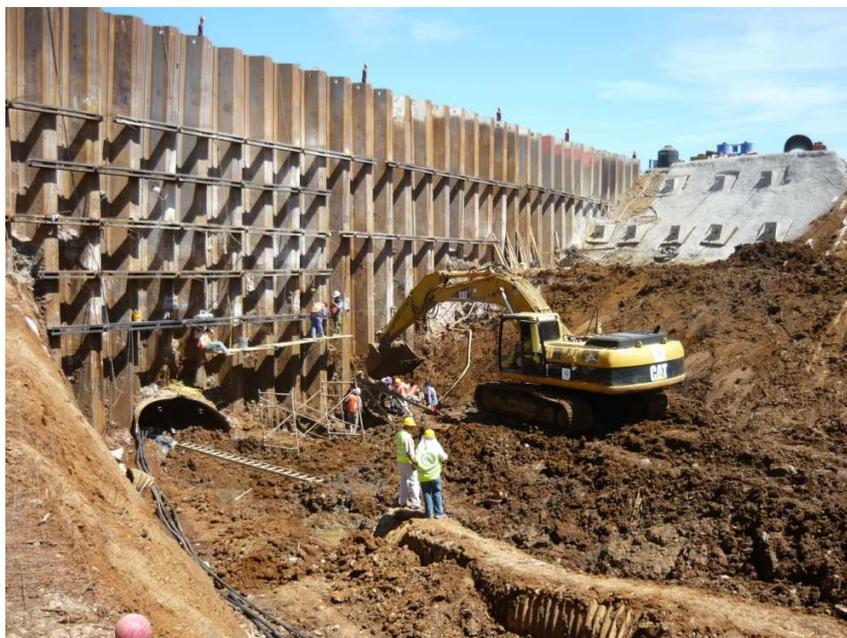


FOTO 3.3 VISTA GENERAL DE EXCAVACIÓN EN CUERPO “A”.

Previendo el drástico cambio de sus condiciones de estabilidad en el material de terraplén, se contempla en el proyecto de estabilización de los taludes el revestimiento con concreto lanzado. Todos los cortes sobre el talud serán protegidos para que durante el tiempo del desarrollo de los trabajos, y previniendo alguna eventualidad que obligue demorar la restitución de éstos, se proteja el material del terraplén contra la intemperización garantizando la integridad de los cuerpos de la autopista. Así, el uso de concreto lanzado favorece que el material no pierda humedad ni sufra afectación alguna al estar expuesto al medio climático. Se tendió todo un recubrimiento con concreto lanzado colocado por vía seca, en un espesor de 5cm y con malla de 6x6/10x10. En la práctica, el tamaño del agregado pétreo se limita a ¼”, con el objeto de evitar taponamientos en los dispositivos de lanzado. El concreto lanzado es un material que se coloca y compacta por medio de impulsión neumática, proyectándose a gran velocidad. Su colocación en capas se presta para interrumpir la continuidad en fisuras, y presenta baja permeabilidad y baja absorción.

Además de los cortes, una vez restituido cada talud en cada lado, fue requerido el revestimiento (ver anexo CONCRETO LANZADO) con concreto lanzado en taludes, con el fin de proteger los terraplenes restituidos del intemperismo; por lo general puede considerarse la plantación de especies arbóreas para tal fin. En este caso, se buscó propiciar el control y encausamiento del agua escurrida en precipitaciones pluviales. Cuidando para tal fin la ubicación de los lavaderos requerida según la hidráulica del tramo y la colocación de bordillo sobre el hombro de la corona, para evitar que el agua pluvial desborde libremente sobre la pared de concreto lanzado.

3.4 MEJORAMIENTO DE SUELO AL NIVEL DE DESPLANTE DE CIMENTACIÓN.

Los estudios de mecánica de suelos dan a conocer la poca capacitancia del suelo para soportar su nueva condición de carga al tener la bóveda montada. Se hace necesario mejorar su capacidad de carga, inclinándose por llevar a cabo un procedimiento de mejoramiento de suelo por inclusión de mortero. Tomando en cuenta que la cimentación será una losa corrida, que distribuya las cargas uniformemente sobre el terreno y además sin olvidar la prioridad por avanzar rápido en obra, se decide por realizar el mejoramiento otorgando mayor capacidad a esfuerzo cortante sobre este por medio de inclusión de lechada.

Se valoró la factibilidad geotécnica, encontrando conveniente la implementación de dicha técnica. Además resulta considerablemente ventajoso el hecho de que para tal fin se pueden aprovechar los equipos que ya están disponibles en obra. Las perforadoras neumáticas y las bombas de inyección utilizadas para la perforación e inyección de anclas son perfectamente útiles para realizar este tipo de inclusiones en el suelo.

Al llegar al nivel de desplante de la cimentación se tiene, naturalmente, el afloramiento del nivel de agua freático. Debido a las condiciones hidráulicas del cauce, y dado que se realizó la excavación estando en época de estiaje, no fue gran problema abatir las aguas freáticas. Bastó para tal efecto la instalación de un cárcamo de bombeo.

Ya estando sobre el nivel de trabajo, se traza el perímetro de la futura zapata, y en esta área se dispone la ubicación de una cuadrícula de barrenos, mismos que serán inyectados para procurar la inclusión.

La perforación se realiza con la misma máquina perforadora neumática coredrill, utilizada para la

perforación de anclas sobre los taludes, he incluso para los tirantes de la tabla estaca. La versatilidad del equipo y su ligereza la hacen una buena elección para obras de difícil acceso y multitarea.

Se inicia realizando perforaciones en el suelo con el equipo neumático de perforación ubicando los barrenos uniformemente distribuidos en el área de la zapata y en un patrón definido según el área de influencia de cada inclusión. Una vez realizado el barreno se equipa con tubería de PVC 3" habilitada con barrenos a diferentes longitudes del tubo forradas con hule maguito. Los barrenos en el tubo se disponen en patrón de "tresbolillo", y a la profundidad definida de proyecto.



FOTO 3.4 TRABAJOS DE PERFORACIÓN PARA INCLUSIÓN DE LECHADA.

Estando *sembrados* los tubos se procede con el procedimiento de inyección. Cerca de los tubos se aloja una central de inyección, donde se ubican las bombas mezcladoras y los materiales. En este caso se utilizó una bomba de tornillo de desplazamiento positivo ideal para líquidos viscosos de denominación "Moyno", equipolada con su propio mezclador de lechada. Adicionalmente se utiliza un equipo by-pass para poder regular la presión de salida en la manguera; típicamente debe evitarse pasar por encima de los 5kg/cm² para evitar hidrofracturar el suelo. Así se conecta la manguera a un obturador de copas, que se introduce en el tubo y obstruye con sus copas la salida de la lechada al inyectar, obligándola a salir por las perforaciones previamente hechas en el tubo, permeándose así la lechada dentro del suelo. El hule manguito hace las veces de una válvula *check* al alongarse a la acción de la inyección de lechada permitiéndola fluir hacia afuera, pero evitando el contra flujo. Ésta acción se lleva a cabo en repeticiones sucesivas ubicando el obturador a diferentes profundidades el tubo, iniciando de abajo hacia arriba, y cuidando en cada nivel la presión de inyección para no rebasar la recomendada. La lechada es adicionada con un componente mejorador de fluidez, reductor de agua y acelerante de fraguado que ayudará a reducir la viscosidad de la mezcla y a frague rápidamente en el suelo.

Este procedimiento supone dos acciones sobre el material del suelo. La primera es llamada “compactación horizontal”, al formar bulbos de lechada en cada perforación, concentrando los esfuerzos de empuje del fluido al ser inyectado en el suelo dentro de su propia estructura, cambiando, consecuentemente, su capacidad para absorber esfuerzos a cortante. Se suma a esta acción la resistencia de la lechada que se irriga en el material, desplazando el agua que pudiera poseer el suelo y sustituyéndola por el fluido resistente, al mismo tiempo que rellena cualquier oquedad.

La inyección, en este caso, se realiza por procedimiento de “Volumen controlado”, el cual consiste en aforar la cantidad de lechada inyectada en cada barreno, además de cuidar la presión recomendada. El procedimiento de inyección en cada barreno se detiene cuando se observe afloramiento de lechada en el suelo o cuando se llegue al volumen definido para inyectar en el barreno, lo que ocurra primero. Siguiendo el objetivo de mejorar la capacidad del suelo para su resistencia a cortante, el proceso se vuelve un poco empírico al mismo tiempo que calculado y estandarizado. Es imprescindible el sano juicio del ingeniero, basado en el estudio del procedimiento y la experiencia, para evaluar el desarrollo de ésta operación.

3.5 CONSTRUCCIÓN DE CIMENTACIÓN

Posterior al procedimiento de relleno se inicia con la construcción en sitio de la cimentación para la bóveda TECHspan®, priorizando beneficiar el procedimiento para hacerlo lo más rápido posible. Para tal fin, paralelamente a la realización de las actividades de excavación se preparó la modulación del armado de la losa de cimentación, entre otras actividades.

La losa de cimentación tiene un área de 31.40 x 7.90mts y peralte de 0.85mts; teniéndose su ejecución dentro de la ruta crítica del proyecto. Para apremiar su construcción se redefinió el proceso constructivo dentro del mismo diseño, cambiando la manera convencional de armado de acero de refuerzo a la modulación del mismo, con el cuidado que éste cambio amerita, además de programar un colado masivo con concreto de resistencia rápida para lograr con el montaje de la bóveda tres días después de tener armada la losa.

Con el perfecto entendimiento del armado de la cimentación, se propuso habilitar previamente módulos iguales que pudieran ser manipulables para accederos al fondo de la excavación con una grúa montada sobre camión. Esta maniobra ayudaría a reducirse sustancialmente el tiempo de armado de todo el elemento. Para tal fin se previeron tres aspectos:

- a) **MANIPULACIÓN DEL MÓDULO.** La manejabilidad es importante considerando las circunstancias de obra para mantener procesos seguros, los recursos disponibles y la

necesidad de evitar dobles maniobras y adecuaciones improvisadas. Sobré esto, se habilita y arma el acero de acuerdo a planos en módulos de una tonelada, para poder así ser movidos en la grúa titan de 3ton con plataforma utilitaria en la obra. Esta grúa puede acceder al pie de la excavación por sus propios medios. Además, el módulo armado fue reforzado con un bastón de varilla en cada lado, para darle rigidez al ser manipulado por la grúa; este bastón queda habilitado para ser usado en los empalmes cuando se arme por completo la losa de cimentación.

- b) **ACOPLAMIENTO EN SITIO.** La previsión de prerarmar módulos no sería suficiente si estando en sitio dificultaran la adición del otro acero de refuerzo. Previa a la definición de los módulos se estudió el proceso de armado para prevenir la manera en que se terminaría de armar el elemento. Así, al montar los módulos se deja el espacio de uno cada 12mts aproximadamente para facilitar el ingreso de bastones y estribos que serán amarrados por la parte de adentro. Todo este montaje es ubicado con precisión sobre el terreno de desplante de la losa, teniendo trazado en sitio la ubicación de cada uno. Resulta interesante que para esta procedimiento se tuvieron que seleccionar las cuadrilla de personal según sus cualidades físicas, particularmente en la estatura y largo de brazos; ya que para los fierros que eran más altos se les dificultaba acomodarse dentro del estribo del alto del peralte de la losa, entorpeciendo su tarea, mientras que para los fierros con brazos más cortos les era muy difícil alcanzar a amarrar los bastones de la parrilla inferior estando ellos situados en la superior, teniendo que llevar su herramienta a través del módulo prefabricado y hacer el amarre al otro lado, por lo que cada uno tomó tarea según su fisionomía.
- c) **ESTRICTO APEGO AL PLANO DE ARMADO.** Evidentemente el diseño rige el proceso constructivo. Todo el esfuerzo de acelerar la construcción no se interpone con el plano de armado. Para lograr tal fin fue muy necesaria la correcta interpretación de planos y el estudio del proceso de prearmado, además de una estricta supervisión durante todo el proceso.

Para el colado del concreto también se define una estrategia de prioridad sobre el tiempo de ejecución. El cimbrado del elemento no constituye ningún problema en lo absoluto, solo se define por el encoframiento del perímetro de la losa, además de los cajetines del pie de la bóveda los cuales serán mencionados más adelante. Se prepara entonces para la realización de un colado masivo (mayor de 100m³ en un solo tiro).

De acuerdo al proyecto de cimentación, el concreto requerido es de $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ t.m.a. 19mm, que para el procedimiento se solicitó RR a 24hrs. La base de cálculo de la losa es sobre su funcionamiento como elemento monolítico, por lo que tampoco está condicionada la implementación de juntas constructivas.



FOTO 3.5 COLOCACIÓN DE MÓDULOS DE ACERO DE REFUERZO DE LA CIMENTACIÓN.

En éste caso, se toma en cuenta una consideración especial sobre el proceso de fraguado por el volumen y geometría del elemento, y es que, a grandes rasgos, toda la masa del concreto al ser colado en un solo tiro se espera que produzca una cantidad de calor (por exotérmica) mayor a la que podría naturalmente disiparse por su área expuesta; este fenómeno deshidrataría rápidamente el conglomerado mientras fragua, afectándolo por retracción plástica y consecuentemente agrietándolo. Para prevenir esto se anticipa el uso de un aditivo que evita la pérdida de de humedad. CEMEX ha recientemente desarrollado en México un aditivo de estas propiedades, que no afecta la integridad estructural del concreto y que supera el desempeño de la membrana de curado.

También es de suma importancia la logística para el colado masivo; en un trabajo de esta magnitud se debe garantizar la continuidad del suministro. Antes de iniciar el suministro se revisa que todos los trabajos previos hayan sido concluidos correctamente, y se inspeccionan los accesos, bahías de servicio y condiciones ambientales y de tráfico. Se decidió por llevar a cabo todo el proceso en domingo, para tener la comodidad de disponer de toda la productividad de la planta de concreto. Se acondicionaron los accesos a la excavación para el seguro tránsito de los camiones revolvedores, y antes de esta una bahía de espera donde formaban los camiones sin interferir con el tráfico de la autopista. Las cuadrillas de colado trabajaron en dos turnos de ocho horas cada una.

3.6 RELLENO DE BÓVEDA MECÁNICAMENTE ESTABILIZADO

El relleno sobre la bóveda TECHspan® tiene una especificación particular para la zona inmediata sobre ésta. La bóveda no está calculada para soportar presión hidrostática, por lo que su periferia es rellena con material de filtro con el debido tratamiento para el acomodo de sus partículas granulares. Así, la humedad que pueda alojarse sobre la estructura filtrará por el material granular y saldrá a través de las juntas de cada dovela, descartando la posibilidad de que se deba soportar la influencia de ésta en el análisis estático de la estructura.

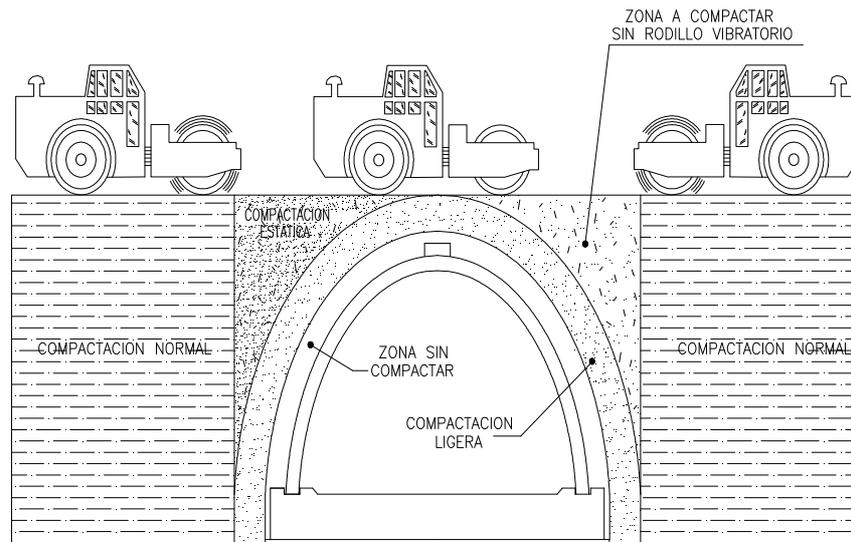


FOTO 3.6 COLADO DE CIMENTACIÓN AGUAS ABAJO.

Esta especificación solo se define para los tres primeros metros sobre la clave del arco, luego de ese nivel se continúa con el relleno por métodos convencionales. En el capítulo cuatro se describirá con mayor detalle el sistema constructivo de bóveda TECHspan®.

El relleno sobre la bóveda obedece a las especificaciones de conformación de terraplenes para carreteras. En este caso, como fue dicho anteriormente, la previsión de cada aspecto de la obra fue valorado para evitar retrasos por errores de procedimiento o por tener que esperar para la solución de indeterminaciones en los procesos, así que mientras se reconstituyó el terraplén del cuerpo aguas abajo se reforzó con la tecnología de “muros mecánicamente estabilizados”.

Éste método consiste en empaquetar en el terraplén armaduras dispuestas a intervalos regulares, que confinan los granos de tierra entre sí, gracias a su fricción. El terraplén reforzado de esta manera se convierte en su propia estructura de soporte. Habitualmente se confina en un paramento ligero de revestimiento a base de elementos prefabricados, sin embargo para este proyecto definió tomando como paramento la tabla estaca. De este modo se logró estabilizar el relleno del terraplén del cuerpo “A” para que se mantuviera por sí mismo mientras se escavaba en el cuerpo “B” para la construcción de la segunda etapa de la bóveda aguas arriba.



GRAF. 3.2 ESQUEMA DEL PROCEDIMIENTO DE RELLENO DE BÓVEDA.

Los muros de contención mecánicamente estabilizados se logran gracias a la fricción entre el suelo y las armaduras. Este sistema se basa en el principio básico de incremento de resistencia al esfuerzo cortante de un suelo por medio de la fricción con los elementos de refuerzo. Al incrementar la resistencia al esfuerzo cortante se logra obtener paramentos verticales, aún con sobre cargas importantes, eliminando la necesidad de construir un muro de contención tradicional pro gravedad, o un costoso muro de concreto armado. Para este proyecto en particular facilitó poder iniciar cuanto antes la excavación del lado aguas arriba, sin necesidad de esperar a la instalación de los tirantes a través del cuerpo de terracería reconstruido.

La mecánica de esta tecnología es bastante simple, radicando su eficiencia en la sofisticación del cálculo y el aprovechamiento de los materiales adecuados. La ubicación y longitud de cada línea de armaduras debe de ser precisa, y el procedimiento de relleno debe adecuarse a éstas. Para éste caso se fijó el arranque de la armadura en la tabla estaca por medio de soldadura, y conforme al relleno subía se iban colocando las armaduras en los arranques con tornillería (ve anexo MURO MECÁNICAMENTE ESTABILIZADO).

3.7 ESCAVACIÓN EN CUERPO “B”

Una vez totalmente terminado los trabajos sobre el cuerpo “A” de la autopista se repite el procedimiento en el cuerpo dirección México. Para esta etapa del proyecto no se tienen previsiones particulares más allá de evitarse la perforación de tirantes a través del terraplén, ya que ahora la tabla estaca ha quedado estabilizada por medio de los refuerzos de tierra armada que se colocaron al restituir el terraplén.



FOTO 3.7 ESQUEMA DEL PROCEDIMIENTO DE RELLENO DE BÓVEDA.

En este punto de la obra el personal ya se haya mas familiarizado con todos los procesos y las condiciones de campo que podrían complicar la ejecución. Así, de la experiencia de la primera etapa ahora cada cuadrilla es capaz de anticipar cualquier circunstancia o problemática que interfiera con sus actividades, logrando construir este segundo cuerpo más rápido que el primero.

Mientras se llevaba a cabo la excavación aguas arriba, toda la fuerza de trabajo es aprovechada para la construcción de los aleros en el portal de salida. Después de todo, durante la excavación no es requerido más que un mínimo de la mano de obra. Los aleros en cada portal de la bóveda se aprovechan para proteger el terraplén del caudal del río, además de dirigir el cauce y proteger la cimentación de la socavación producto de la erosión que pudiera causar el arroyo.

La estructura de los aleros es completamente independiente a la bóveda, y esto es parte importante en el procedimiento de construcción. Por procedimiento, esto facilita la construcción de la cimentación, ya que cada elemento es construido en momentos distintos lo que favorece al proceso de movimiento de

tierras al excavar, además de que la cimentación de ambos está desplantada a niveles distintos, por lo que se dificultaría mucho pretender colar todas de una sola vez.

Así como en la primera etapa, al excavar y mantener bermas para que los cortes se mantuvieran estables, se dejó preparada la plataforma de trabajo de la grúa de montaje y la rampa de acceso. Sobre la selección del equipo de montaje se priorizó la geometría de la grúa, en primer lugar, y luego la maniobra del “lanzado” de la pieza, ya que el espacio para maniobrar era muy limitado y restringía la operatividad del equipo para realizar el montaje preciso de cada dovela.

De igual manera se llevó a cabo un mejoramiento de suelo por medio de inclusión de lechada en el área donde se desplanta la losa de cimentación. Así también, la perforación y colocación de anclas se desarrolla de la misma manera que en la excavación anterior.



FOTO 3.8 PROCEDIMIENTO EN CUERPO “B”

3.8 ACOPLAMIENTO DE LAS BÓVEDAS.

Una vez que se han construido los dos cuerpos de la bóveda debe de realizarse la conexión de estas a través de la tabla estaca que se interpone entre ambos. Dado que el terraplén ya reconstituido es soportado por la bóveda no existe peligro de falla en el procedimiento.

La tabla estaca a través de la bóveda ha quedado enterrada 14 mts en el terraplén, y a través de éstas las vigas madrinas que en su momento funcionaron para estabilizarla quedaron adosadas a ella. El procedimiento consta de cortar y retirar la tabla estaca que se interpone entre los dos tramos de bóveda, y posteriormente acoplar estructuralmente la cimentación y las dovelas.

Bastó con un equipo de oxicorte para cortar por dentro de la alcantarilla la tabla estaca. Habiendo hecho esto se le da continuidad a la losa armado y colando el vacío en ella. De igual manera, en la bóveda se arma en sitio una dovela de acoplamiento y a continuación es colado con concreto lanzado.



FOTO 3.9 VISTA DEL COLADO DE DALA DE ACOPLAMIENTO CON CONCRETO LANZADO.

Las dovelas más próximas a la tabla estaca fueron encamisadas con un colado en sitio de un acostillado sobre estas. Esta adición ayuda a que éstas garanticen su estabilidad estructural dado su particularidad geométrica. Así, el colado de la dovela de cierre con concreto lanzado queda ubicado por debajo del encamisado, situación que favorece el procedimiento. La utilización del concreto lanzado para tal fin es perfectamente aplicable al colado de la dala de cierre, dado que sería imposible intentar colar el elemento de manera tradicional. Al final resulta ser tal como el revestimiento secundario de un túnel construido por métodos convencionales.

3.9 PROTECCIÓN DEL TALUD DEL TERRAPLÉN CON CONCRETO LANZADO.

Una vez restituida la autopista por completo, fue requerido el revestimiento en los taludes con concreto lanzado. Como ya fue mencionado anteriormente, al recubrir los taludes por este método se logra proteger al terraplén del intemperismo. Por supuesto, la durabilidad del sistema estribará en su correcta ejecución (ver anexo COCNETO LANZADO).

Así, sobre los taludes conformados se tendió una malla electro soldada 6x6-10/10 para recibir los 7cms de espesor del concreto. Junto con esto se adecuaron lavaderos, y bordillos para dirigir el agua de precipitación pluvial. El mismo concreto lanzado se aprovecho para formar los lavaderos más próximos al río, con la previsión de lograrlo más grueso en el lugar donde escurriría además de incrustar piedras para disminuir la fricción del agua. En el contorno del área revestida se tiende la franja exterior del concreto por dentro de unja zanja hecha en el talud, a modo de quedar protegida debajo de esta para evitar la penetración de humedad que pudiera socavarle por debajo del concreto.

3.10 CANCELACIÓN DE ALCANTARILLA ANTERIOR CON CONCRETO FLUIDO.

Durante toda la construcción de la Bóveda TECHspan® la alcantarilla original siguió funcionando para poder dar salida al cauce del río. Una vez terminada la construcción se cambia el cauce para que atraviese a través de la nueva alcantarilla y así la anterior queda en desuso. Ésta oquedad constituye un peligro para la estabilidad del terraplén ya que al paso de los años podría colapsarse, por lo que se decide por sellarla.

El método más eficiente para cancelar una tubería en desuso es rellenarla con concreto fluido. El concreto fluido es un conglomerado tal como lo conocemos, con la peculiaridad de ser bastante expansivo, tanto como un líquido de viscosidad equiparable a la del agua, por lo que es capaz de rellenar oquedades. Es autonivelable, e incluso puede ser utilizado para la conformación de bases en sustitución de suelos granulares. Además, una de sus cualidades es que es fácilmente removible en aplicaciones temporales o de bajo requerimiento de resistencia.

Encuentra aplicación en:

- Relleno de zanjas para la conducción de servicios públicos, telefonía y comunicaciones.
- Relleno de cavidades difícilmente accesibles.
- Relleno de tanques enterrados en desuso o abandonados.
- Obras de relleno en calles y carreteras.
- Sustituto de bases en la elaboración de pavimentos (VRS>80%).
- Relleno de minas abandonadas.

Entendiendo todas las ventajas del producto se decide por aprovecharlo para la cancelación de la tubería abandonada, utilizando un relleno de resistencia de 28 kg/cm², con revenimiento de 22cms. Primeramente se realiza un levantamiento de la alcantarilla, obteniendo secciones y pendientes. Este ayuda a obtener el volumen a utilizar y a definir la estrategia a seguir con la colocación de la tubería (ver anexo CANCELACIÓN DE ALCANTARILLA).

El procedimiento se define en obra y se describe a continuación:

- Montar tubería de inyección sobre bancos o rodillos hechizos en obra. Esto con la intención de facilitar la extracción del tramo de tubería rodándolo sobre el rodillo para sacarlo a medida que el concreto fluido valla alcanzando nivel.
- Iniciar inyección a volumen controlado, hasta llegar al nivel de la salida del tubo. Procurar vaciar el tubo en cada ciclo. Se inicia desde el fondo hacia arriba, al ir depositando el concreto fluido en el tubo este ira alcanzando su nivel. Se debe de procurar ubicar la salida de la tubería en la parte más alta dentro del tubo para que el fluido alcance a rellenar tola la oquedad. En este punto se detiene el bombeo.
- Lo siguiente es desacoplar tubo en el portal de entrada y jalar con quipo mecánico hasta liberar la longitud para el siguiente bombeo, una vez que se haya llegado al nivel máximo en la etapa. Se debe de apoyar de un sistema de poleas para lograr jalar el tubo hacia atrás.
- Al reconectar la tubería se reiniciar el bombeo.
- Repetir el ciclo hasta llegar al nivel de la primera del portal.

El procedimiento se escarifica en el plano siguiente. Sobre la marcha fue necesario solicitar a la planta un ajuste en el revenimiento del concreto, ya que en el trayecto desde la bomba hasta el depósito se calentava por la fricción con todo el tramo de tubería, lo que repercutía en su revenimiento al salir y dificultaba el proceso.



FOTO 3.10 FINALIZACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE CANCELACIÓN DE ALCANTARILLA EXISTENTE.

4. SISTEMA DE BÓVEDA TECHSPAN®.

Históricamente se tiene por conocido la propiedad geométrica del arco como un elemento estructuralmente estable. Un arco bien construido es capaz de transmitir eficientemente su propio peso y sobre cargas a sus puntos de apoyo. El adecuado aprovechamiento de su geometría junto con los materiales apropiados, permite la edificación de económica y eficiente de diversas estructuras. Conocemos sus aplicaciones en obras de ingeniería de cavilaciones antiguas, como acueductos, templos y puentes, mayormente construidos con mampostería.

Como fue descrito anteriormente, el sistema de bóveda TECHspan® consiste en la prefabricación y montaje en sitio de una bóveda de arco a base de dos dovelas encontradas entre si que se autosoprotan. Así, el arco se monta palmo a palmo logrando una estructura rápida de construir, segura y económica. El sistema de arco se propone con dos o tres articulaciones, según sea el caso, y la geometría de la dovela obedece específicamente a las necesidades del proyecto. Las dovelas se prefabrican en sitio, y en si mismo todo el sistema presenta cuantitativas ventajas:

- No es requerido cimbra ni andamiaje para la construcción en sitio.
- El proceso es más rápido que los métodos convencionales, y el uso de prefabricados ofrece piezas fabricadas con mayores estándares de calidad.
- Los moldes para las dovelas permiten adaptarse a cualquier geometría.
- No hay prácticamente restricciones climáticas para su construcción.
- Otorga mayor vida útil.

Éste método encuentra gran utilidad en obras de infraestructura como: Túneles falso para protección de caídos sobre caminos, también para portales de acceso a túneles colados en sitio, alcantarillas, pasos ganaderos, túneles ferroviarios, túneles vehiculares.

Cada bóveda es diseñada según las solicitudes de cada proyecto, logrando así optimizar el comportamiento estructural de los elementos que conforman el sistema. Cada estructura TechSpan® está diseñada estructural y geoméricamente para cada caso en particular, basándose en las características y requisitos específicos de cada proyecto, como son:

- Gálibo Vertical (Incluso con alturas internas mayores a 11m)
- Gálibo Horizontal (incluso con claros mayores a 20m)
- Altura de rellenos (incluso mayores a 40m)
- Área Hidráulica
- Tipo de Suelo
- Pendientes

Caso por caso se requiere de cierta información mínima necesaria para diseñar la estructura a la medida.

- Planta Geométrica y Planta Topográfica
- Secciones Constructivas
- Perfiles de Rasante tanto principal como laterales y espesor de Pavimentos
- Estudios de Mecánica de Suelos (básica en suelo de cimentación)
- Características del Materiales de Relleno (pruebas índice y mecánicas)
- Reservaciones especiales (tuberías, alcantarillas, registros, ductos)
- Cargas especiales permanentes y/o de proceso constructivo, (datos de descarga)
- Estudio Topo-Hidráulico.

El relleno de la bóveda es parte integrante del sistema, y por ende debe de cumplir con particularidades definidas de proyecto. Alrededor de la bóveda se distinguen cuatro tipos de zonas de relleno, que se definen según el tipo de material a utilizar y el método de compactación. En el plano RELLENO DE BÓVEDA, se observan estas cuatro etapas.

La primera capa en contacto con la bóveda se rellena con un material filtrante (granular no plástico), que no será compactado hasta 40cms de espesor; en esta etapa bastara con dar un acomodo por medios manuales al ir conformado el relleno mientras va subiendo. Inmediatamente después de ésta se continúa con el mismo material granular compactándolo por medios ligeros de peso menor a 1,500 kg otros 60cms. Estas dos capas se conforman alrededor de la estructura siguiendo la misma forma del arco de la bóveda. Por encima de ellas se continúa con relleno granular de tamaño máximo de 15cms, llenará toda el área de la excavación por encima de la bóveda y será compactada por rodillo liso estático. Por encima de la clave del arco se continúa rellenando con el segundo material descrito, compactándolo por medio de rodillo liso vibratorio. Fuera de la proyección de la bóveda y hasta tres metros arriba de ésta, el relleno no será de menor especificación al indicado en el proyecto de terracerías. La finalidad de todo el proceso es estructural un sistema de filtro por encima de la bóveda, para reducir a su menor grado la presión hidrostática sobre la estructura. El relleno se efectuara simultáneamente por ambos costados del arco, evitando sobrepasar uno del otro más allá de .50 mt, a modo de que no sufra deformaciones.

El relleno en cada portal podrá ser contenido por medio de un muro tímpano, que se diseña en conjunto con todo el sistema. La especificación del relleno de la bóveda TECHspan® tiene la virtud de ser equiparable al a especificación de relleno de un muro mecánicamente estabilizado convencional, por lo que es compatible con esta tecnología. También se puede rematar con un portal acondicionado a la geometría acorde al ángulo de echado del relleno, destacando la estética del sistema. A esta adecuación geométrica se le llama “pico de flauta”, que viene a bien como un detalle arquitectónico.

La bóveda junto con el relleno actúan en conjunto para mantener la integridad estructural. Ambos, contruidos dentro de las especificaciones de proyecto, constituyen el sistema de bóveda TECHspan® y no pueden ser excluidos uno del otro.

4.1 PREFABRICACIÓN Y TRANSPORTE.

La simplicidad del sistema radica en la sofisticación del cálculo. Tal como cualquier elemento prefabricado debemos observar en su desarrollo tres actividades principales:

- Prefabricación.
- Transporte.
- Montaje.

Las cuales no distan mucho de las conocidas para otros elementos prefabricados más usuales, salvo por ciertas particularidades que describiremos a continuación.

La prefabricación es la natural evolución de los sistemas contractivos, de este concepto se puede aprovechar todas las ventajas de la industrialización del proceso. Lograr la implementación de una línea de producción en el lugar de la obra logra el mismo efecto que en la industria: mejor gestión de calidad y seguridad, especialización de personal, optimización de recursos, control sobre tiempos de entrega, economía de gastos de producción, y todos los demás imaginables. Para la construcción de la bóveda TECHspan® no hay excepción.

Junto con la tecnología y su diseño particular a cada caso, el cuidado del proceso constructivo es el que hace trascender los beneficios de elegir un sistema de arco prefabricado por encima de otros sistemas. Así como el diseño geométrico y estructural se estudia para cada obra en particular, de igual manera se estudia la logística y la implementación del sistema de producción para cada obra. La meta es la construcción de la bóveda de manera segura, rápida y económica.

Se inicia por conocer las particularidades de la obra, localización, accesos, clima, recursos disponibles, estudios de mecánica de suelos, topográficos, topohiráulicos o hidrológicos, según sea el caso, procesos constructivos, planos estructurales, condiciones contractuales, normas aplicables, catálogo de conceptos y el programa de obra. Además, se debe de tener conocimiento de todos las demás actividades paralelas a la construcción del a bóveda, con las que habrá que coordinar el avance. Teniendo estudiadas estas características y con pleno conocimiento del proceso de prefabricación de los elementos, el ingeniero residente define la estrategia para iniciar con la construcción.

El concepto de industrialización abarca desde la procuración de insumos al patio de prefabricados, hasta implementación de la línea de producción, transportación y montaje en escala

macro al tener que coordinar todas esas operaciones en una extensa área geográfica, según la disponibilidad de los espacios como fue el caso, con la precisión que se tiene al manufacturar productos en taller. Sobre esto, se debe de conocer y prever las circunstancias fuera de “condiciones controladas” como el clima y el tráfico, que invariablemente influirán sobre la eficiencia de la producción.

Un punto primordial para todo el proceso es la adecuada selección del patio de prefabricados. Cuanto más cerca esté el patio del área de montaje más se facilitará toda la operación, sin embargo, a veces su ubicación es condicionada.

4.1.1 PATIO DE PREFABRICADOS.

Dado que las dovelas son diseñadas para cada obra en particular y guardando la geometría requerida de proyecto, su fabricación se realiza en el sitio de los trabajos, lo cual es ventajoso en varias formas. La facilidad de tener una planta de prefabricación móvil reduce los costos de transportación de las piezas y los tiempos de entrega. La instalación del patio de prefabricados se basa en los siguientes principios de selección:

- **Número de moldes.** El programa de obra definirá el ritmo de producción de las dovelas prefabricadas. Según el momento en que sean requeridas y la cantidad de piezas se deberá de disponer del número de moldes necesarios para tal fin. Naturalmente, mayor cantidad de moldes requerirá mayor espacio para instalarlos, además del área para estiba. La tipología del patio (ver anexo PATIO DE PREFABRICADOS) irá toda enfocada a lograr una línea de producción que facilite la fabricación de las piezas y agilice los movimientos regulares del equipo pesado al anticipar sus maniobras.
- **Accesos.** La movilidad es crítica para la operación del proceso. El patio debe ubicarse estratégicamente en la ruta más directa de acceso hacia la zona de montaje, tanto por los costos de transportación como por la seguridad de las piezas. Sobre el patio debe de disponerse de los medios para mantener el camino de acceso fácilmente transitable bajo cualquier circunstancia climatológica, y si el acceso se ubica sobre una vía transitada debe de habilitarse un carril de aceleración y desaceleración para los transportes pesados, además de un proyecto completo de señalización de protección de obra.
- **Condiciones del predio.** Aun que la instalación del patio de prefabricados no es tarea verdaderamente complicada, se debe de tener mucha atención a que cumpla con los requerimientos mínimos indispensables para que la producción de piezas prefabricadas no sea comprometida bajo ninguna circunstancia. Se debe considerar que sobre el terreno designado para el patio de prefabricados se circularán camiones revolvedora, grúas pesadas y tráileres con plataforma, por lo que el cuerpo de terracería deberá de ser capaz de mantenerse estable ante estas solicitudes todo el tiempo que se esté en operación. Siempre es recomendable despallar la capa de terreno natural más expuesta y sustituirla con un terraplén mejorado, que podría ser de un material no plástico bien compactado o alguna

mezcla, según la disponibilidad, con una capa de material mejorado de grava arena rustía como superficie de trabajo. Al realizar este trabajo de mejoramiento del suelo se debe de dar bombeo y conformar una cuneta para el desagüe de aguas pluviales.

Para cada proyecto se identifica y diseña un patio de prefabricados que se apegue al criterio anteriormente descrito. El patio se diseña para estas condiciones particulares y el plano de patio generado en obra se vuelve parte integrante del proyecto.

Particularmente para el proyecto de “Restauración de emergencia de la autopista México – Veracruz” se logró alojar el patio sobre el derecho de vía de la autopista, a diez kilómetros del sitio de montaje. En el reducido espacio del derecho de vía se alojaron los moldes con un carril de maniobra, área de estiba, área de embarque, zona de armado, fosa de lavado para camiones revoladora, estacionamiento, bodega, comedor, servicios, y caseta de vigilancia. La versatilidad de este sistema para el alojamiento del patio de prefabricados se adecua a cualquier condición de obra, por particular que sea (ver foto 4.1).

Resuelto todo lo anterior se procede con el armado de los moldes de las bóvedas. Se cuelan plantillas para fijarlos a estas, además de que la masa de la plantilla sumada al peso propio del molde actúan a reacción al despegar la pieza ya fraguada. La geometría del molde es muy precisa y se controla por medio de un sistema de coordenadas relativas a un punto fijo, este aspecto debe ser cuidado a mucho detalle ya que la geometría de la molde determinará la de la pieza, la cual no debe variar con lo dispuesto de proyecto para que pueda realizarse el montaje.



FOTO 4.1 VISTA GENERAL DEL PATIO DE PREFABRICADOS.

4.1.2 FABRICACIÓN.

La fabricación es un proceso relativamente sencillo diseñado para llevarse a cabo como “producción en serie”. Desde que inicie la producción se debe de colar una pieza cada día en cada molde; para tal fin se requiere del uso de un concreto de resistencia rápida. El criterio de selección del concreto debe de comprender primeramente las especificaciones de diseño, y por procedimiento el revenimiento adecuado para ser manejable al verterse en la cimbra, de tal forma que sea capaz de amoldarse fácilmente a ésta sin escurriese; además del criterio de selección de la velocidad de fraguado para mantener la continuidad del proceso. Las actividades a realizar en el proceso de fabricación son las siguientes:

1. **Habilitado y armado de acero de refuerzo de dovela.** Se realiza por anticipado el habilitado y armado de los elementos, de acuerdo con los planos de proyecto. Todas las piezas de tamaño estándar se arman a priori, pero las piezas de geometría especial se arman sobre el molde. Se debe tener un stock de armado suficiente para abastecer de manera continua el colado de las piezas. En el patio de prefabricados se tendrá un área específica para el habilitado y armado de acero.



FOTO 4.2 PROCEDIMIENTO DE COLADO DE DOVELAS.

2. **Habilitado del molde.** Cada vez que se cuele una pieza el molde debe ser revisado en sus medida, para garantizar que vez con vez cada una de las dovelas mantenga la geometría de proyecto. El molde al contener la pieza colada soporta un sobre peso de varias toneladas, además que se tensa al despegarle la dovela al desmoldara, por lo que existe la posibilidad de

que se desajuste a cada uso, pese a que se haya diseñado para ser indeformable. Previo al colado, se imprime sobre la superficie de contacto una película muy fina de desmoldante.

3. **Colocación de acero de refuerzo en el molde.** Se coloca el acero de refuerzo en el molde, previamente armado, y estando en éste se ajusta levemente su forma para que se adapte perfectamente a la curvatura de la dovela, guardando los espacios de recubrimiento requeridos de proyecto en cada lado. Se utilizan silletas plásticas tan altas como lo indique el recubrimiento mínimo. Para dicha maniobra se utiliza la grúa de servicio del patio (ver foto 4.3).
4. **Proceso de colado.** Una vez revisado que se finalicen los pasos descritos anteriormente, se da inicio al proceso de colado. Se tienen preparados junto al molde un par de plataformas de trabajo a cada extremo, vibradores de concreto pro inclusión y la herramienta menor. El colado se realiza con el apoyo de la grúa de servicio del patio, que carga una “bacha” dónde el camión revolvedora vierte el concreto al nivel del suelo. La grúa carga la “bacha” y la sitúa sobre la parte más alta del molde, en donde es abierta para que el concreto contenido en ella sea depositado sobre la cimbra. El proceso se repite cada vez hasta haber terminado con el molde, entonces los andamios junto con la grúa y el demás equipo se recorren al siguiente molde que ya deberá estar preparado, y así sucesivamente. No se aceptan juntas frías en el elemento. El procedimiento se ha resuelto así como se describe, descartando el uso de sistemas de bombeo, por dos razones fundamentalmente: Generalmente el espacio en el patio es muy limitado, por lo que no es recomendable limitarlo aún más al implementar equipo adicional al estrictamente indispensable, además de que un concreto bombeable resulta ser demasiado fluido para autosoportarse en el molde curvo (foto 4.2).



FOTO 4.3 MANIOBRA PARA COLOCACIÓN DE ACERO DE REFUERZO.

5. **Curado, fraguado e identificación de pieza.** Por detrás de la cuadrilla de colado avanza una pequeña cuadrilla de curado que está al pendiente de cuidar el momento adecuado para imprimir sobre la superficie expuesta de la pieza recién colada una membrana de curado que ayude a evitar la deshidratación violenta del concreto. Junto con esto, la misma cuadrilla se encarga de limpiar los restos de concreto que puedan atascar u obstruir las bisagras y demás elementos móviles de la cimbra. Esta actividad que parece poco importante resulta ser de cuidado cuando el volumen de concreto colado se vuelve bastante grande para ser manejado por una sola cuadrilla de trabajadores. Así, cuidar el sano fraguado del concreto ayuda mucho a obtener un producto terminado que cubre altos estándares de calidad al tiempo que se va fabricando. Como en cualquier control de producción cada pieza debe ser identificada con sus datos generales, que incluyen, tipo, número de serie, fecha de colado y molde donde se fabrico, para efectos de control de calidad.

6. **Desmolde y estiva.** La pieza se desmolde al obtener el 80% de su resistencia, que para fines de producción debe ser a las 16 hrs después del colado. Las piezas están habilitadas con cuatro gazas de izaje para este fin, de las cuales se toman las eslingas con ganchos para la carga. El primer movimiento es el desmolde de la pieza, del que se toma la pieza de sus cuatro puntos de izaje y se coloca sobre el suelo a un costado de donde será estivada. Posteriormente se sueltan dos de sus eslingas y con un movimiento de la pluma se lleva la pieza sobre su canto. Una vez turnada sobre su costado la pieza es acomodada en el sitio dónde será almacenada hasta que se cargue a la plataforma que la llevará directo al montaje.



FOTO 4.4 MANIOBRA DE DESMOLDE.

Hasta este punto, el control de calidad sobre estas actividades validará la eficaz y eficiente implementación del proceso de fabricación, teniendo prioridad este sobre la planeación de operaciones. La inspección y control sobre las actividades devolverá como resultado un procedimiento seguro y

eficiente y naturalmente un producto terminado apegado a las normas y condiciones de diseño. Así, la implementación de controles particularmente sobre el sistema de bóveda TECHspan®, deberán considerar las particularidades del propio sistema y observaran que se cumplan las condiciones de aceptación para cada pieza terminada. Además de controlar la adecuada manipulación de las piezas y el correcto ensamble de estas al conformar la bóveda (ver anexos de control de calidad). El formato que se observa anexo muestra un ejemplo del control de pieza terminada en campo, destacando datos del control sobre el concreto, acabado y fisuramiento, si lo hubiera, de cada elemento.

4.1.3 CARGA Y TRANSPORTE.

La transportación de estas piezas requiere de todo un estudio del proceso, ya que esta actividad puede repercutir en el costo, y mientras la dovela esté en trayecto corre el riesgo de ser dañada. Mucho sobre la transportación de los elementos prefabricados se define desde el diseño de cada pieza. En lo particular para la bóveda TECHspan® esta se fabrica en módulos de un ancho máximo de 2.44 mts, que es el ancho de una plataforma convencional. Esta consideración facilita encontrar los medios para su transporte.



FOTO 4.5 TRANSPORTE DE DOVELAS.

Se deben de evitar los sobre acarreos y traspaleos. A pesar de que la pieza es capaz de soportar las fuerzas inducidas pro acción de su manipulación, no debe de arriesgársele en movimiento innecesarios. La pieza deberá mantenerse estibada hasta que sea el momento para su montaje, y solo será transportada del área de estiba directamente a ser montada en el sitio.

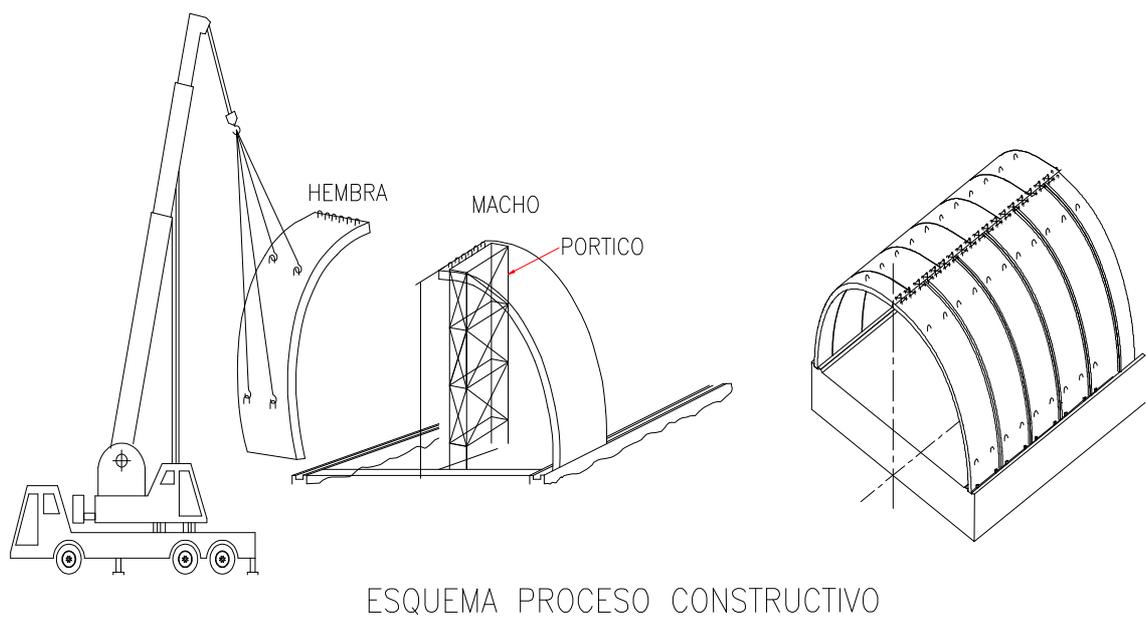
Los medios para su transportación serán los semirremolques de tres ejes convencionales (VER FOTO 4.5), ya que sus dimensiones no exceden de las definidas para el vehículo. Solo se debe cuidar el

volumen de la pieza, ya que al variar el gálibo de la bóveda según cada caso, la dovela será más pesada en la medida que crece la relación de su forma con respecto a la cuerda del arco que dibuja, por lo que deberá verificarse no rebasar la capacidad de la plataforma.

4.2 MONTAJE.

La estructura de la bóveda se forma por medio de dovelas prefabricadas de geometría definida de acuerdo a las especificaciones de proyecto, prefabricadas de concreto armado y suministradas en el lugar lisitas para montarse inmediatamente.

Previamente al suministro de los elementos prefabricados se construye en sitio la cimentación de concreto armado, de acuerdo a las dimensiones y niveles marcados en el proyecto, y se hacen los trabajos necesarios para permitir el acceso de los equipos de montaje. La cimentación contempla un cajetín a cada lado de la bóveda donde se alojará el pie de las dovelas. Este cajetín deber ser finamente nivelado y alineado con trazo de topografía, y tendrá un acabado pulido, ya que su geometría definirá la alineación de las dovelas montadas.



GRAF. 4.1 ESQUEMA DE PROCESO CONSTRUCTIVO.

Cada dovela conforma la mitad de la sección del arco y para su instalación es necesaria una grúa con capacidad suficiente para su manipulación (ver gráfico 4.1). Así el primer miembro se coloca en su posición ayudándose con un puntal provisional. La segunda dovela se coloca en la cimentación opuesta y se apoya sobre la primera uno contra el otro, continuando así sucesivamente. Se va armando el túnel dovela por dovela cada una apoyada sobre las dos siguientes.

La junta entre las piezas es cubierta por un geotextil, que permite la salida de la humedad sin migración de finos. Sobre la clave se cuela una dala de cerramiento, según sea el caso, para las bóvedas biarticuladas o triarticuladas. Esta dala se debe ir colando cada treinta metros de bóveda montada, para garantizar la seguridad durante el proceso.

A cada par de dovelas montadas se debe de ir revisando el alineamiento vertical y horizontal, el plano de contacto de ambas en la clave del arco siempre sobre el eje del trazo de la bóveda. Así también, cada par de dovelas montadas es sujeta por la clave provisionalmente con el par anterior, para garantizar su estabilidad durante las maniobras y hasta que esté colada la dala de clave y el cajetín.

Al terminarse el ensamblaje de las dovelas, junto con el colado de la dala, el cajetín sobre la cimentación será colado con grout fluido, para dar por terminada la etapa de montaje. Posteriormente se podrá continuar con el relleno de material de filtro sobre la bóveda terminada.

CONCLUSIONES.

Debe reconocerse sobre la rápida implementación de los sistemas y la logística para la atención del a emergencia. La adecuada selección de técnicas constructivas, además de la atinada asignación de los trabajos a empresas serias y profesionales, tanto para el diseño como para la ejecución de los trabajos, favorece la mejor solución para la sustitución de emergencia del a obra hidráulica. Se tiene como un gran logro la resolución operativa a la par de la definición estructural de la nueva bóveda, ayudado por la versatilidad del sistema de Bóveda TECHSPAN® y la adecuada ingeniería de procesos. Además de lo anterior es meritorio el hecho de no haber interrumpido el tránsito sobre el tramo afectado, incluso sin necesidad de reducir carriles.

En lo general, la ejecución del proyecto puede calificarse como una eficaz sinergia de sistemas y capacidades específicas de empresas especializadas que logró exitosamente la meta de reconstruir la obra hidráulica y restituir las condiciones de servicio de la vía sin perjudicar en ningún momento la operación de la misma, lográndolo además con la mínima afectación al usuario y manteniendo en todo momento la seguridad en la autopista.

BIBLIOGRAFÍA.

SCT-SUBSECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA
Manual de Señalamiento y dispositivos de seguridad.
Señalamientos y dispositivos para protección de obras.
Dirección general de servicios técnicos.
México 2001

UCAR NAVARRO ROBERTO, LÓPEZ JIMENO
Manual de anclajes en ingeniería civil.
Edit. Carlos Lopez
España 2004

JUAN JACOB SCHMITTER, SEGOVIA PACHECO
Manual de Construcción Geotécnica.
Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos.
México, 2002

EDUARDO REINOSO ANGULO, MARIO E. RODRÍGUEZ,
Manual de diseño de estructuras prefabricadas y presforzadas.
Asociación Nacional de Industriales del Presfuerzo y la Prefabricación A.C.
México, 2000.