

111
deje.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

"PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO
DEL PUENTE QUETZALAPA"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A :
RAUL SALAZAR MARTINEZ



DIRECTOR DE TESIS:
ING. RAFAEL ABURTO VALDES

MEXICO, D. F.

1984

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-019/94

Señor
RAUL SALAZAR MARTINEZ
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor ING. RAFAEL ABURTO VALDES, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

"PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL PUENTE QUETZALAPA"

- I. EVOLUCION DE PUENTES EN MEXICO
- II. PROYECTO AUTOPISTA CUERNAVACA-ACAPULCO
- III. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO
- IV. SISTEMA DE PREEFUERZO
- V. SUPERESTRUCTURA
- VI. PRUEBAS DE COMPORTAMIENTO
- VII. COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, a 31 de mayo de 1994.
EL DIRECTOR.



ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS/RCR*nl

Agradezco a mi padre Raúl Salazar Davalos su voluntad de todos los días, de levantarse temprano, para trabajar y ofrecer todo lo que un hijo pudiera necesitar, un ejemplo y cariño.

Agradezco a mi madre Ana Agustina Martínez de Salazar, por ser su chino.

Dedico a mis hermanos Carlos, Norma y Bárbara, a quienes quiero mucho, este esfuerzo de presentar un trabajo escrito.

Justo en este momento recuerdo cariñosamente a mis abuelos, Celia, Raúl y Bárbara.

Agradezco a mi familia, porque cuando he estado junto a ellos me han ofrecido ayuda y amor:

Tíos: Pedro, Enrique, Jorge, Abelardo, Rafael, Marcelino, Mariano, Jesus.

Tías: Pilar, Mary, Socorro, Susana, Rita, Aurora, Chuy, Leticia.

Primos: Pedro, Ricardo, Enrique, Fernando, Manolo, Eduardo, Rafael, Mariano, César, Alejandro, Jorge, Alberto.

Primas: Elizabeth, Rosa, Paola, Rosita, Susana, Margarita, Adriana, Ivonne, Dulce, Jaqueline, Verónica, Catalina.

Agradezco al Ing. Medina, a Julian, a Demetrio, a Julio y a mi tocayo Raúl, sus atenciones durante mi estancia en la obra

Agradezco al Ingeniero Rafael Aburto V. su colaboración para concluir mi tesis, así como a Jorge Trejo.

"Hombre caprichoso, no sabe ni hacer; hombre cruel, prende a un bueno y a un malo; hombre callado y humilde que sabe su deber, a los que saben más ni le hace ni caso; sabe es, hombre si leen corazon, y más con bella disposicion a un solo algun dia."

USABERS.

INDICE

Introducción	1
Capítulo 1	
Evolución de puentes en México	
1.1. Historia	3
1.2. Puentes Alirantados	5
1.2.1. Antecedentes de Puentes alirantados en México	5
1.2.2. Definición	9
1.2.3. Arreglo de cables en el espacio	9
1.2.4. Tableros y tipos de sección	10
1.2.5. Comentarios generales	11
Capítulo 2	
Proyecto Autopista Cuernavaca Acapulco	13
2.1. Autopista (Proyecto, Especificaciones de diseño. Trazo, Concesionarios y Construcción, Obras Sobresalientes)	
2.2. Puente Quetzalapa	24
2.2.1. Descripción General	24
2.2.2. Fases de Construcción	24
2.3. Estudio Geológico	33
Capítulo 3	
Procedimiento Constructivo	
3.1. Pila 2, Pila 3	34
Excavación, Cimentación, Cuerpo de pila, Cabezal, Dovela sobre Pila, Pilones y Arriostro.	
3.2. Estribo 3, Estribo 4	42
Excavación, Cuerpo Principal y Auxiliar.	

3.3. Cuantificación General	44
3.3.1.Cantidades de Obra	46
3.3.2.Conceptos y Costo de Obra	50
Capítulo 4	
.... Sistema de Presfuerzo	
4.1. Antecedentes	52
4.2. Aplicación de sistema de preesfuerzo (postensado) en la superestructura	52
Capítulo 5	
— Superestructura	
5.1. Elementos constitutivos del tablero prefabricados (dovelas, piezas de puente y losas)	56
5.2. Equipo de Montaje	57
5.3. Ciclos de lanzado	57
Capítulo 6	
— Pruebas de comportamiento	
6.1 Descripción general	79
Capítulo 7	
— Comentarios y Conclusiones	
7.1 Comentarios y conclusiones	81

Introducción.

El Puente Quetzalapa resulta una obra de Ingeniería Civil interesante debido a que para su ejecución se utilizó uno de los procedimientos constructivos más novedosos en materia de Puentes encontrados hasta nuestros días. Combinar el lanzado cíclico en doble voladizo de piezas prefabricadas postensadas apoyadas en principio sobre un equipo de montaje deslizante, con el atirantamiento de la superestructura en cables fijos anclados en los pilones es poco usual en México. Por tal motivo en el primer capítulo se pretende situar esta obra haciendo una pequeña narración sobre la historia de puentes en México, para así tener cierta visión de la evolución de aspectos de carácter muy general como son procedimientos constructivos, tipos de materiales utilizados en puentes, características de resistencia, etc.

En el primer capítulo se señalan también las características principales de los puentes atirantados, su definición, los elementos que lo componen, así también se nombran tres ejemplos importantes de obras de este tipo en México: Puente Tampico, Coatzacoalcos y Mezcala.

En el segundo capítulo se hace mención del proyecto de la autopista del cual forma parte el Puente Quetzalapa, la justificación del proyecto con base a los antecedentes de carreteras que comunican la ciudad de México con la bahía de Acapulco, el trazo de la autopista, su construcción, los tramos principales sus longitudes, etc.

La población, de la cual recibe nombre el puente Quetzalapa (palabra derivada de nombre primitivo Quetzalapan-lugar donde abundan quetzales-), se encuentra muy cerca de Iguala, a 20 km. en Guerrero. De el proyecto, su ubicación, la definición y fases principales de construcción se encuentra en este capítulo

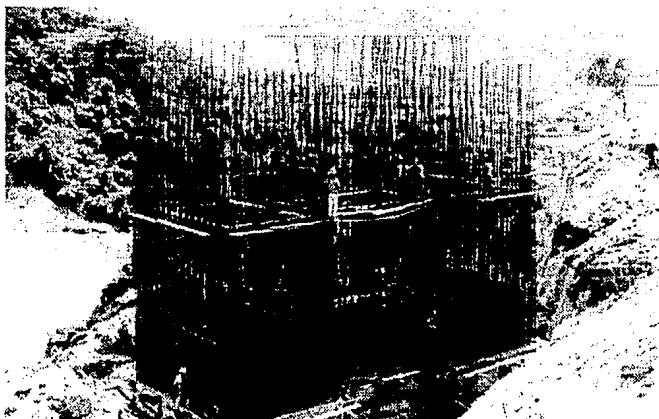
El procedimiento constructivo se explica detalladamente en el capítulo 3 mediante la explicación acompañada de ilustraciones de las diferentes etapas, por medio de las cuales se realizó esta obra.

Tal vez la justificación a la elección de este tipo de puente atirantado se encuentre en el hecho de que este salva una barranca, el sistema de preesfuerzo utilizado para colocar los tirantes y los cables entre las piezas prefabricadas se explica en el capítulo 4 .

La Superestructura esta formada por una especie de mecano compuesto por piezas prefabricadas lanzadas en doble voladizo desde las pilas utilizando para dicho fin un equipo de montaje deslizante explicado en el capítulo 5.

Las pruebas de comportamiento aplicadas al puente son explicadas brevemente en el penúltimo capítulo del trabajo.

Sobre el proyecto en marcha se realizaron varias modificaciones, el proyecto fue supervisado de manera muy rigurosa, tomando en cuenta que se trato de un puente que fue concebido prácticamente desde fuera de la obra, es decir en cuanto a los prefabricados, el equipo de montaje, el acero, el diseño del proyecto, la misma gente que trabajo en él, no fueron recursos obtenidos en el lugar. Los comentarios sobre la organización en obra, sobre la elección del procedimiento constructivo se encuentran en el último capítulo del tema motivo de mi tesis: Procedimiento constructivo del Puente Quetzalapa.



INICIO DE ARMADO EN CUERPO DE PILA

CAPITULO 1

CAPITULO 1

Evolución de Puentes en México

1.1 Historia

La evolución de los puentes se debe principalmente a los cambios que han tenido los vehículos de motor, en sus dimensiones, peso y velocidad de operación, al volumen de tránsito, disponibilidad de mejores materiales de construcción y su utilización racional; al amplio conocimiento de los elementos que forman la estructura y a la facilidad para su análisis con el empleo de computadoras electrónicas; a nuevos métodos de diseños y a la utilización de técnicas adecuadas de construcción.

En el país hace 50 años, para los puentes carreteros a la carga móvil de diseño, correspondía a un camión tipo h15 de 13600 kg.

Los cruces se elegían generalmente normales a la corriente, obligando así al trazo de la carretera, lo que originaba en muchas ocasiones mayores desarrollos de la ruta y alineamientos defectuosos, sobre todo horizontalmente, ya que con mucha frecuencia se obligaba a tener curvas forzadas tanto a la entrada como a la salida del puente.

La estructuración se resolvía generalmente con cimentaciones por superficie, subestructuras a base de estribos con aleros, pilas o caballetes y superestructuras con vigas libremente apoyadas de claros máximos de 15 m. para concreto reforzado, de 20 m. para traveses de acero remachadas y de 50 m. para armaduras metálicas. El ancho de calzada era de 5.7 m. para estructuras de concreto que permitían el paso de dos vehículos en casos aislados, debido al bajo volumen de tránsito.

En la lámina 1* presentada de este capítulo se describe en forma gráfica la evolución de las superestructuras en puentes carreteros construidos desde 1926 hasta nuestros días.

Se puede decir que a partir de la década de los 50's se inicia un franco desarrollo en el proyecto y construcción de puentes en el país.

* Láminas e ilustraciones al final del capítulo correspondiente.

En los primeros años se utilizan concretos con resistencia a la ruptura hasta de 210 kg/cm² y aceros con esfuerzos permisibles a la tensión de 1285 kg/cm²; se emplean en superestructuras viguetas laminadas americanas con peralte hasta de 91 cm. y losa de concreto trabajando en colaboración con la vigueta por medio de conectores, lográndose tramos hasta de 30 m. tipo Gerber.

Se desarrolla el empleo de la soldadura en estructuras metálicas y se diseñan traveses libremente apoyadas hasta de 30 m. de claro y continuas de 40 m. a 60 m. En concreto reforzado se proyectan tramos libremente apoyados con dos de 25 m. y continuos de sección de cajón de 40 m.

El ancho de calzada es de 6.7 m. y la carga móvil corresponde a dos líneas de vehículos del tipo H15-S12 (24494 kg cada una). Para las cimentaciones se utilizan pilotes precolados de concreto reforzado hincados por el procedimiento de pozo indio.

A partir del año de 1955 se introduce el empleo del concreto presforzado, diseñándose vigas precoladas de sección "T" para tramos libremente apoyados con claros de 30 a 35 m., utilizando concretos de $f_c=350$ kg/cm² y cables de acero formados por alambres de 5 y 7 mm. de diámetro, con resistencia a la ruptura de 14000 kg/cm² y límite elástico de 12000 kg/cm². Posteriormente se aplica a estructuras coladas en el lugar tipo Gerber o continuas de sección cajón, llegándose a lograr tramos de 70 m. También se inicia el desarrollo de la técnica de prefabricación en planta, para elementos del orden de 20 m. de longitud, utilizando para el pretensado alambres de 2 cm de diámetro.

En el año de 1957 se comienza la construcción de un puente con claros de 92 m. de concreto presforzado por el procedimiento de doble voladizo; la sección transversal de la superestructura es doble cajón de peralte variable, con articulaciones en el centro de los claros; para el presfuerzo se emplearon barras de 2.5 cm de diámetro con esfuerzo de ruptura de 12000 kg/cm². La técnica de construcción de este tipo de puentes se desarrolló en Alemania después de la segunda guerra mundial y la primera aplicación en América correspondió a esta obra.

En la actualidad es utilizada esta técnica en todo el mundo para claros que van de 70 a 200 m.; en nuestro país, a la fecha se han construido varias decenas y se tienen otros en proyecto.

También se construyeron estructuras en arco con claros de 88 m. en concreto reforzado y uno del

tipo Maillart con 60 m. en curva horizontal y esviado 45 grados y de acero estructural con traveses de rigidez suspendidas en claros de 80 m.

En el año de 1958 se empezaron a utilizar varillas para refuerzo del concreto con límite elástico de 4000 kg/cm² con esfuerzo de trabajo de 1800 kg/cm² y concretos de $f_c=250$ y 300 kg/cm². principalmente para losas con dos diseños libremente apoyadas, hasta 32 m de claro, que compitieron económicamente con las soluciones prefabricadas, construyéndose un gran número de puentes de longitud importante.

Al principio de la década de los 60's se terminó la construcción de dos puentes de grandes claros (72-90-72 metros), con estructuras metálicas continuas para la línea de ferrocarril Chihuahua-Pacífico y a mediados de la misma década, se iniciaron dos obras simultáneamente también con estructura metálica del tipo ortotrópico, para cuatro carriles de circulación de vehículos automotores del tipo HS-20, con claros de 90-110-90 y 110-140-110 metros, siendo la primera un marco rígido con columnas inclinadas a 45 grados también de acero estructural; la distancia entre los apoyos de las columnas es de 206 m. y la altura del fondo del cauce hasta la rasante es de 135. La segunda estructura está apoyada principalmente en dos pilas centrales de concreto reforzado de sección hueca de 100 m. de altura.

En los últimos 30 años se han construido en las carreteras federales y concesionadas del país alrededor de 1800 puentes que suman con sus longitudes 100,000 m.

Entre los puentes que más han aportado en cuanto a experiencia constructiva en años recientes se mencionan al Puente Tampico, el Puente Coatzacoalcos y el Puente Mezcala.

1.2. Puentes atirantados

1.2.1 Puentes atirantados en México

El Puente Coatzacoalcos (lámina 2) es un puente atirantado construido sobre el río del mismo nombre, entre las poblaciones de Minatitlán y Coatzacoalcos, con una longitud de 1182 m. formada por tramo principal de 698 m. con un claro central de 288 m. y un viaducto de 484 m. con claros de 60 m. La superestructura es de concreto prefabricado de sección cajón de 3 m. de peralte y paredes inclinadas; el ancho total es de 18.10 m. y aloja dos carriles de circulación de 7 m. para un total de 4 líneas de tránsito del tipo HS-20, separadas por un camellón central de 1.5 m. y banquetas laterales. Su construcción se

llevo a cabo por el sistema de doble voladizo, suspendiéndose el tramo de 288 m. y los laterales de 112 m. por tirantes rectos, constituidos por torones de acero para presfuerzo de 15 mm. de diámetro; los tirantes están formados por 35 a 60 torones cada uno. La subestructura son pilas de concreto reforzado, huecas con sección rectangular, a excepción de las correspondientes al claro principal, que serán de sección variable así como las columnas de las torres de apoyo para los tirantes de suspensión. La cimentación es fundamentalmente de tipo profundo a base de pilotes de concreto de 2.5 m. de diámetro, colados en el lugar, y longitud hasta de 30 m; las pilas principales requieren de 18 pilotes. En la parte del viaducto se emplean cilindros de concreto reforzado de 6 m. de diámetro con una profundidad de hincado del orden de 33 m. El espacio libre vertical mínimo, entre el nivel del agua y la superestructura, es de 35 m, para permitir el paso de las embarcaciones.

Puente Tampico.

El Puente Tampico (lámina 3) tiene una longitud total de mil 543 metros. Lo componen tres partes: una principal de tipo atirantado y dos viaductos de acceso.

La primera es de 878 m. con un tramo central de 360 m. y a cada lado tres de 70 m. y una de 49 m. El viaducto de la margen izquierda es de 478 metros, con cuatro tramos de 63 y cuatro de 56 ; el de la margen derecha, de 189 metros con tres tramos de 63 cada uno.

El alineamiento vertical del puente tiene pendientes de 4.85% en ambos extremos, y al tramo de 360 m. se aloja en una curva vertical circular de tres mil 23 metros de radio, con lo que se logra un espacio libre vertical entre el nivel del agua y la parte baja de la superestructura no menor de 50 m. para permitir el paso de embarcaciones de gran altura.

En planta, entre las pilas 5 y 10, se localiza una curva horizontal de un grado, con una longitud de 305 metros.

La Superestructura es de concreto presfuerzo de sección cajón a excepción de los 293.5 metros centrales del tramo de 360 donde es metálica de tipo ortotrópico. El ancho total de 18.1 metros permite alojar dos calzadas de 7 m . para la circulación de cuatro líneas de tránsito, dos en cada dirección.

La Subestructura esta compuesta por 21 elementos de apoyo, dos caballetes extremos y 19 pilas

, todos de concreto reforzado. Tienen una resistencia de 250 a 300 kg/cm² y su altura varía desde cinco hasta 45 metros.

Las pilas son huecas, de sección rectangular, de 2.4 por 6.4 metros con espesor de 40 cm. en sus parades, para las correspondientes a los viaductos, y 50 cm. para las del tramo principal. Las que sirven de apoyo al tramo de 360 metros son de sección variable. En el arranque son rectangulares y están divididas en tres cuerpos; uno central vertical y dos laterales inclinados, que se unen por medio de un elemento horizontal a 48 m. de altura, en el que queda contenida la sección de la superestructura.

A partir de este nivel, se levantan lateralmente dos columnas inclinadas, huecas, que convergen y se unen a 33 metros de altura, para continuar formando en sentido vertical la porción denominada "mástil", con una sección constante hexagonal, también hueca, de dos metros por lado y 42 metros de altura.

El conjunto de las columnas y el mástil es denominado "pilón", el cual, en este caso, por sus características geométricas es una "Y" invertida. En el interior de las columnas y el mástil se dispuso de una escalera metálica con alumbrado, que tiene por finalidad facilitar el acceso desde el nivel de la calzada del puente hasta la parte superior del mástil.

La altura del pilón es de 119 m. por lo que, tomando en cuenta la longitud del elemento de cimentación, la altura total resulta de 185 m.

El atrantamiento del tramo central ppal. es axial, dispuesto en forma de medio abanico. Esta formado por 44 cables de longitud variable, desde 58 hasta 206 metros. Los cables están constituidos por torones galvanizados; su diámetro es de 150 mm. El número de torones varía de 33 hasta 60 por cable, se alojan en tubo de polietileno.

Los cables se fijan al mástil en uno de sus extremos, mediante un sistema de anclaje pasivo y por el otro extremo, al tablero de la superestructura, mediante un anclaje activo que permite poner en tensión cada uno.

Fundamentalmente la cimentación es de tipo profundo, lograda con cilindros de concreto reforzado de sección circular hueca de 6.4 m. de diámetro exterior y 80 cm. de espesor, en los apoyos del 8 al 12

y del 15 al 17. Se hincan en el terreno desde los 10 hasta los 65 metros de profundidad.

En los apoyos número 13 y 14 del tramo de 380 metros se usan cajones de concreto reforzado con sección de forma elíptica, miden 13.4 metros, en su eje mayor y 10.5 metros en su eje menor. Contienen 4 celdas y el espesor de las paredes es de un metro, sus longitudes son de 65 y 30 m. respectivamente.

Los apoyos extremos, así como como las pilas números 2 al 6 y 18 al 20, se cimientan a superficie con la utilización de zapatas. Para la pila número siete se usan pilotes colados en el lugar de 1.5 metros de diámetro y con una longitud máxima de 18.5 metros

Puente Mezcala

El Puente Mezcala (lámina 4), tiene una longitud total de 882 m. siendo la mayor parte recta tangente con una curva horizontal de 3 grados 15 minutos en 196 m. de desarrollo, iniciando cerca de la pila 6 y con dirección hacia el estribo No. 7; el ancho de calzada es de 19.6 m. mismo que permitira la circulación de 4 carriles, 2 en cada sentido, divididos por un camellón central de 1.1 m., dos andadores peatonales laterales de 1.25 m. cada uno limitados por una guardación del carril vehicular

La estructura del Puente Mezcala se encuentra sostenida por dos estribos y cinco pilas, todas de concreto armado, de estas pilas tres son principales y dos secundarias, las primeras soportaran el tablero de los claros centrales; la pila 3 tiene una altura total de 242 m. siendo la de mayor altura que se haya construido en Mexico.

La superestructura de la calzada es a base de dovelas de acero formadas por dos vigas de alma llena en los extremos, con vigas de puente a cada 4 m., un peralte de 2.52 m. con losas de concreto reforzado en la superficie de rodamiento con un espesor de 30 cm. con un claro principal de 311.44 m. otro de 299.46, uno de 83.84, uno de 67.87, el último de 39.44 m. respectivamente. La rasante tiene una pendiente de menos del 6 % del estribo 1 al estribo 7.

Dichos claros estan sostenidos por un atrantamiento a los extremos formado por tres arpas, la primera consta de once tirantes a ambos lados, la central formada por catorce tirantes por lado y la última

con diez tirantes por lado, con longitudes variables de 30 a 205 m constituidos por torones de 15 mm. de diámetro.

En cuanto a las pilas principales, su sección es variable ya que en su arranque mide 11 x 21 m. y decreciendo hasta el nivel inferior de la calzada a 6 x 21 m. ampliándose lateralmente hasta tener 27 m. de ancho en la rasante, incluidos los dos brazos o pilones, siendo estos del tipo H, con una altura de 76.5 m. cada uno en donde quedan anclados los tirantes; mientras que las pilas secundarias son columnas huecas con sección de 4 x 6 m. la pila No. 5 y de 3 x 6 m. la pila 6.

1.2.2. Definición

Son puentes que se caracterizan por poseer una superestructura suspendida en tirantes (cables de presfuerzo) apoyados o anclados en los pilones de la pila, de tal forma que aumentan su brazo de palanca y con ello la posibilidad de salvar claros mayores.

Los tirantes se constituyen generalmente por:

cables cerrados.-compuestos por torones, de hilos redondos, recubiertos de varias capas de hilos en forma helicoidal

cables paralelos.-análogos a los anteriores, sólo que estos se colocan entre sí todos paralelos.

1.2.3. Arreglo de cables en el espacio

-Disposición longitudinal de los tirantes.

Longitudinalmente los tirantes se pueden disponer según un plano único situado en el eje del tablero, suspensión axial (ejemplo puente Tampico), o bien según dos planos laterales, paralelos o convergentes, suspensión lateral (ejemplo Puente Quetzalapa). En la lámina 5 se observa la diferencia entre dichas disposiciones longitudinales de los tirantes.

La suspensión axial se utiliza normalmente cuando el perfil transversal del tablero tiene dos sentidos de circulación, materialmente separados.

Las ventajas de esta solución son, sobre todo, de orden estético; requiere sin embargo, una rigidez torsional importante para el tablero, que debe ser capaz de soportar los esfuerzos excéntricos originados

por las sobrecargas.

La suspensión lateral tiene los tirantes colocados en dos planos dispuestos, o en el exterior del ancho útil del tablero, o entre los carriles y la franja de acotamiento lateral.

Se distinguen además tres formas de colocar los tirantes (lámina 6), en abanico, semlabanico y arpa:

Disposición en abanico, en las que todos los tirantes convergen en el vértice del pilón.

Disposición en semlabanico, o abanico modificado, en la que los tirantes se reparten regularmente en la parte superior del pilón. Esta disposición, poco diferente de la anterior ofrece sin embargo, la ventaja de facilitar, el anclaje de los tirantes separando unos de otros.

Disposición en arpa, en la que todos los tirantes son paralelos.

Esta disposición disminuye los riesgos de inestabilidad elástica del pilón, a causa del reparto de los puntos de anclaje de los tirantes en toda su altura, y permite simplificaciones constructivas notables, debidas a la constancia del ángulo de incidencia de los tirantes.

1.2.4. Tableros y tipos de sección

(Estructura transversal)

La estructura transversal del tablero de un puente atirantado tiene que satisfacer un cierto número de imperativos, a menudo contradictorios: gran ligereza, estabilidad aerodinámica satisfactoria y facilidad de anclaje de los tirantes (lámina 7).

La concepción de la estructura transversal es diferente según el modo de suspensión del tablero: suspensión axial o suspensión lateral.

En el caso de suspensión lateral, los planos de los tirantes se pueden disponer en el exterior del ancho útil del tablero como ya se menciona, o bien, entre el carril y la franja de acotamiento lateral, en este caso la estructura transversal del tablero se puede componer de dos vigas tubulares triangulares, dispuestas lateralmente, y unidas por losa superior y nervios separados entre ejes, o como en el caso de Puente Quetzalapa un mecano formado por piezas de puente, losas y dovelas prefabricadas con sección rectangular preponderantemente en cada una de ellas.

1.2.5 Comentarios generales sobre puentes atirantados.

Las tres disposiciones longitudinales existentes ya mencionadas, la de abanico, semiabanico y arpa se pueden comparar fácilmente, tanto en plano económico como estructural.

Admitiendo en un principio, que cada tirante, tensado en servicio a su límite admisible, σ , toma la carga total aplicada al elemento del tablero que soporta, lo que permite determinar con una buena aproximación su sección S_i (lámina 8).

Se deduce fácilmente que el peso P_i del tirante A_iB_i , que forma un ángulo α_i con la horizontal, es inversamente proporcional a $\sin^2\alpha_i$. Este peso será por consiguiente mínimo para $\alpha_i = 45^\circ$.

De la misma manera, si se caracteriza la eficacia del tirante A_iB_i por la relación η_i entre la fuerza de suspensión que engendra al nivel del tablero, y la deformación vertical y_i de este último, se ve que esta eficacia es proporcional a $\sin^2\alpha_i \cdot \cos\alpha_i$, y máxima para un valor de α_i próximo a 55° .

Por último sumando los pesos P_i del conjunto de las capas de tirantes, se pueden comparar los pesos de acero W a los que conducen los tres tipos de suspensión, representando gráficamente su ley de variación, en función de la esbeltez h/L de los pilones, con relación al vano central (lámina 9).

Examinando las curvas correspondientes en el caso de una suspensión total del tablero, se comprueba que:

-el valor mínimo del peso de acero se obtiene para una esbeltez igual a 0.29, con atirantamiento en abanico, y a 0.5 con atirantamiento en arpa (se trata en este caso del mínimo absoluto, estando inclinados todos los tirantes a 45° sobre la horizontal)

-el atirantamiento en abanico es más económico que el atirantamiento en arpa, para esbeltez normal de 0.2, la ganancia en acero es del 18 %. Por encima de $h/L=0.3$, el fenómeno se invierte, pues la disminución de la longitud de los cables del atirantamiento en arpa se compensa el aumento de su sección, debido a una menor inclinación sobre la horizontal.

-el atirantamiento en semiabanico da resultados muy próximos a los del atirantamiento en abanico, en la zona de esbelteces normales comprendidas entre 0.15 y 0.25. Para una esbeltez de 0.2, la ganancia de acero es todavía del 14% sobre el atirantamiento en arpa.






Por otro lado en el estudio de puentes atirantados se pueden distinguir tres tipos en función de las características del accidente a salvar:

Cuando es disimétrico, los proyectistas se orientan generalmente hacia puentes atirantados con pila descentrada.

Si la obra tiene que franquear dos obstáculos contiguos de dimensiones parecidas, se escogerá un puente atirantado simétrico de dos claros.

La tercera familia de estructuras agrupa a los puentes atirantados de tres claros (con dos pilas). Al ser el obstáculo a salvar prácticamente simétrico, estas obras permiten disponer de un claro central importante.

CRONOLOGIA DE SECCIONES DE PUENTES

Año del proyecto	LOSAS PLANAS	CLARO	MATERIALES EMPLEADOS
1926		5 a 7 m.	Concreto $f'c=110 \text{ kg/cm}^2$ Acero $f_s=1125 \text{ kg/cm}^2$
1950		6 a 8 m.	$f'c=145 \text{ kg/cm}^2$ $f_s=1125 \text{ kg/cm}^2$
LOSAS CON NERVADURAS			
1972		6 a 12 m.	$f'c=250 \text{ kg/cm}^2$ $f_s=2000 \text{ kg/cm}^2$
1930		5 a 15 m.	$f'c=140 \text{ kg/cm}^2$ $f_s=1265 \text{ kg/cm}^2$
1960		16 a 25 m.	$f'c=250 \text{ kg/cm}^2$ $f_s=2000 \text{ kg/cm}^2$

AÑO DEL
PROYECTO

SECCION CELULAR

CLARO

MATERIALES
EMPLEADOS

1950



25 a 35 m.

$f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$
 $fs = 1265 \text{ kg/cm}^2$

1960



30 a 40m.

$f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$
 $fs = 2000 \text{ kg/cm}^2$

LOSAS SOBRE VIGUETAS DE ACERO

1926



5 a 7 m.

$f'c = 110 \text{ kg/cm}^2$
 $fs = 1125 \text{ kg/cm}^2$

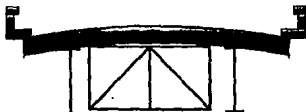
1951



12 a 24 m.

$f'c = 140 \text{ kg/cm}^2$
 $fs = 1265 \text{ kg/cm}^2$

1960



20 a 35 m.

$f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$
 $fs = 1265 \text{ kg/cm}^2$

VIGAS PREESFORZADAS

AÑO DEL
PROYECTO

CLARO

MATERIALES
EMPLEADOS

1985



30 a 45 m.

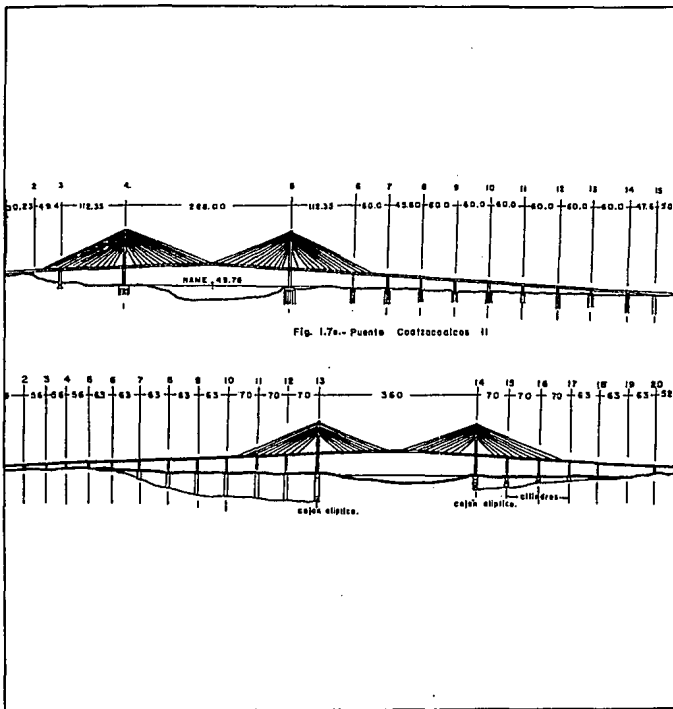
$f'_c = 350 \text{ kg/cm}^2$
 $f_s = 1265 \text{ kg/cm}^2$

1980

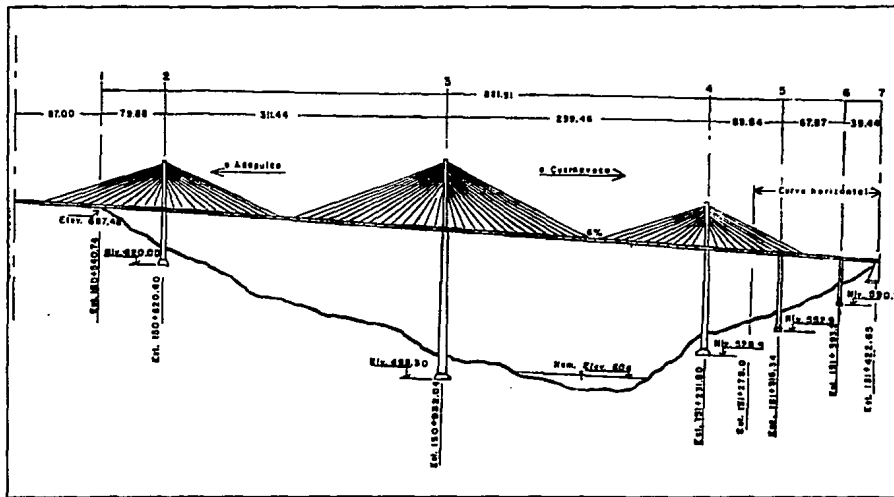


30 a 45 m.

$f'_c = 350 \text{ kg/cm}^2$
 $f_s = 2000 \text{ kg/cm}^2$



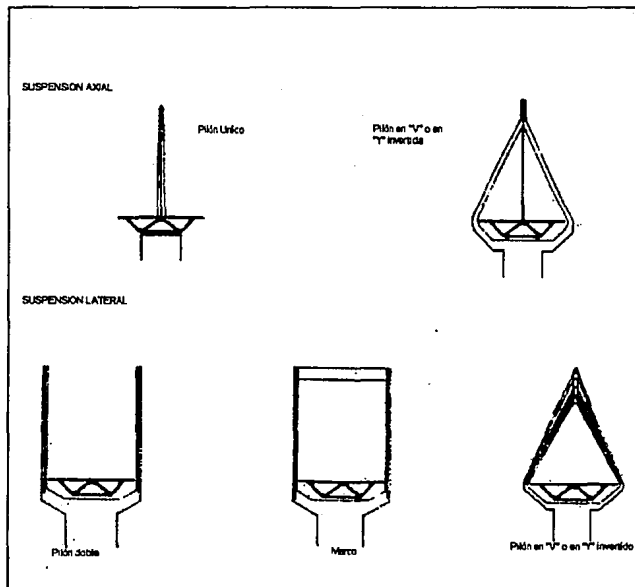
PUENTE COATZACOALCOS (arriba) Y PUENTE TAMPICO (abajo)



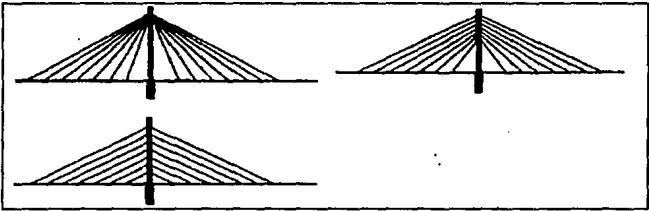
PUENTE MEZCALA

LAMINA 4

Disposición transversal de los tirantes

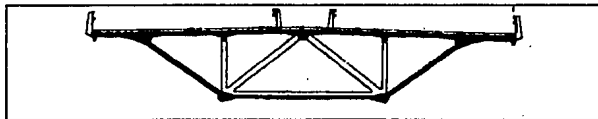
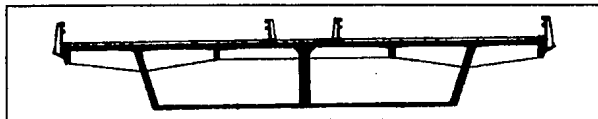
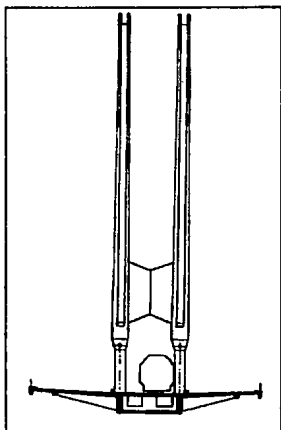


Disposición longitudinal de los tirantes

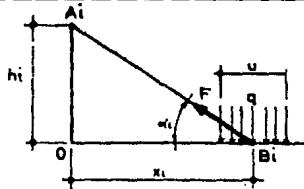


Abanico, Semiabanico y Arpa

Diferentes secciones transversales de tableros

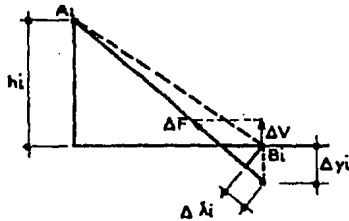


Peso y eficacia de un tirante



$$S_i = \frac{F}{\sigma} \quad F = \frac{q \cdot u}{\text{Sen } \alpha_i} \quad \lambda_i = \frac{x_i}{\text{Cos } \alpha_i}$$

$$P_i = \delta \cdot S_i \cdot \lambda_i = \frac{\delta \cdot q \cdot u \cdot x_i}{\sigma \cdot \text{sen } \alpha_i \text{ ccs } \alpha_i} = \frac{2 \delta \cdot q \cdot u \cdot x_i}{\sigma \cdot \text{sen } 2 \alpha_i}$$

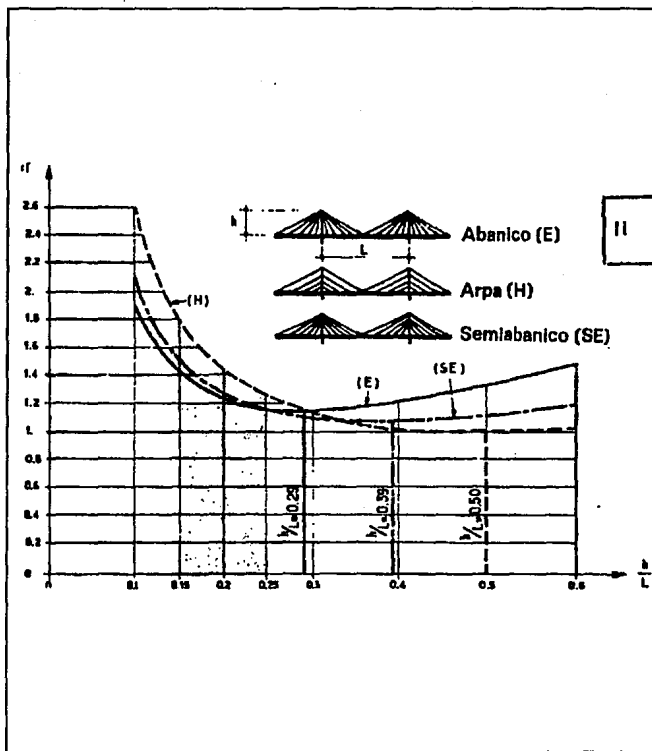


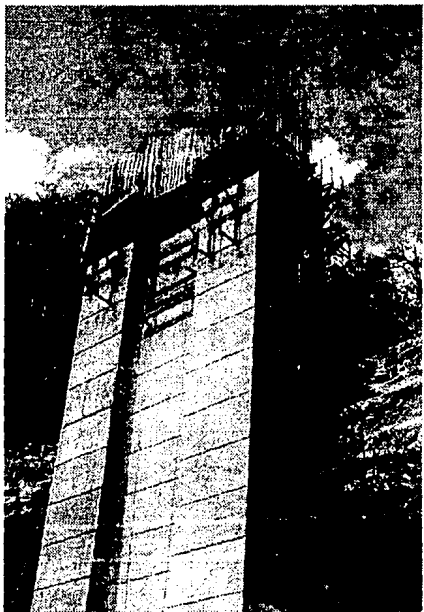
$$\Delta V = \Delta F \text{ Sen } \alpha_i \quad \Delta F = \Delta \sigma \cdot S_i \quad \Delta \sigma = E \frac{\Delta \lambda_i}{\lambda_i} = \frac{\Delta \lambda_i \text{ Cos } \alpha_i}{x_i}$$

$$\Delta \gamma_i = \frac{\Delta \lambda_i}{\text{Sen } \alpha_i}$$

$$P_i = \frac{\Delta V}{\Delta \gamma_i} = \frac{E \cdot S_i \cdot \text{Sen}^2 \alpha_i \cdot \text{Cos } \alpha_i}{x_i}$$

Peso del acero de la suspensión según el atirantamiento





CIMBRADO Y TREPADO EN CUERPO DE PILA

CAPITULO 2

Capítulo 2

Proyecto autopista Cuernavaca-Acapulco

2.1 Autopista (Proyecto, Especificaciones de diseño, Trazo, Concesionarios y Construcción, Obras Sobresalientes)

Desde la fundación de Acapulco, en el año de 1550, hasta nuestros días, diferentes caminos han unido a ese puerto con la Ciudad de México y con gran número de poblaciones intermedias.

La ruta Veracruz-México-Acapulco fue, por largo tiempo, durante el dominio de la Corona Española, una vía expedita -sin ser la más corta- para cruzar el continente americano.

Acapulco era el punto de partida hacia las Filipinas y otras colonias españolas en Asia.

En un sentido estricto, no podemos hablar de un camino México-Acapulco anterior al siglo XX, si por tal comprendemos una vía directa y continua. En realidad desde el siglo XVI hasta el año de 1925, fueron muchos los caminos que, al ir uniendo a los poblados intermedios, terminaron por unir a las dos ciudades. En ese año, el Presidente Calles creó la Comisión Nacional de Caminos, y una de las primeras obras que se emprendieron fue la de la carretera de México a Acapulco. Esa carretera se convirtió en una ruta real, continua, para automóviles en el año de 1927, la que actualmente se conoce como "carretera vieja a Acapulco" o autopista Federal, cuyo trazo ha cambiado notoriamente desde entonces.

Poco a poco se fueron construyendo los libramientos e incluso se trazo una autopista de cuota entre Cuernavaca e Iguala. Esto ahorra terreno y tiempo, y ya para los años 50's, los autobuses de pasajeros que salían de México a las 12 de la noche, llegaban a Acapulco poco antes de la 7 de la mañana. Y cuando quedó terminada la autopista México-Cuernavaca, de cuatro camiles (la primera de América Latina), el viaje para los autobuses se redujo a 6 horas, y para los automovilistas a 5.5 horas.

La autopista "nueva" -tramo entre Cuernavaca e Iguala, proyecto de los años 50's, numerosas veces modificado hasta los años 80's, de cuota, y la "vieja", antigua carretera federal, se unían a partir de Iguala y hasta Acapulco. El camino fue ensanchado, la señalización mejorada y los diferentes libramientos lo hicieron más rápido, así como las mejoras en servicio lo hicieron más seguro, pero en toda su longitud

fue, durante muchos años, una vía para turistas y, en menor grado, para la transportación de mercancías.

Desde hace algunos años, Acapulco es, además de un centro turístico de gran importancia internacional, un puerto al que llegan cargueros de toda la franja del Pacífico con gran cantidad de mercancías destinadas al centro del país.

Y en estos tiempos en que el peso de las horas equivale al de los meses de antaño, para fines del comercio y otras actividades, el camino que une a ese puerto con las ciudades de Chilpancingo, Cuernavaca y México -por no mencionar sus múltiples tronques con autopistas que van a otros importantes centros de desarrollo-, era indispensable una nueva autopista con capacidad y servicios suficientes para satisfacer el intenso tránsito vehicular de carga y pasaje, y esto dio origen a dos proyectos de mejoramiento: un nuevo tramo de Tierra Colorada a Acapulco, concesionado en julio de 1989, y un nuevo tramo entre Cuernavaca y Tierra Colorada, concesionado en Diciembre del mismo año. Estos dos proyectos, lógicamente unidos, dieron origen a la autopista que une a Cuernavaca con Acapulco y, por ende, a través de la autopista México-Cuernavaca, a la capital de la república con aquel puerto guerrerense.

Proyecto.

La ruta entre Cuernavaca y Acapulco presenta múltiples retos. En principio, tiene un desnivel topográfico de casi 1500 metros, con la condición adicional de que se debe cruzar la Sierra Madre del Sur. Esto implica largos tramos con pendientes pronunciadas que, en un sentido, desaceleran el tránsito, y en el otro, provocan el efecto opuesto, con el consabido riesgo. Una buena autopista en esas condiciones, para ser rápida y segura, debe tener un trazo que reduzca al mínimo las pendientes y que tenga curvas suaves, y ninguna de estas dos condiciones se cumplía en la antigua autopista.

La nueva autopista se trazó, pues, en cuatro carriles con barrera central, con largos tramos de rectas, túneles y puentes para salvar accidentes del terreno sin recurrir a la vieja técnica de rodear (y de introducir docenas de curvas cerradas) y tratando de mantener tramo a tramo pendientes razonables.

La nueva autopista elemento de desarrollo para todas las comunidades que cruza contempló obras menores tales como cruceros a desnivel con otras vías de comunicación, andadores peatonales y pasos

de ganado y de fauna silvestre. Contempló así mismo la conservación de los cauces y corrientes naturales e inducidas de agua.

- Especificaciones de diseño

Longitud total	274 kilómetros (64 km. menos que la vía anterior)
Tiempo de recorrido	3 horas a velocidad media autorizada (50 % menos que la vía anterior)
Ancho de Corona para 4 carriles	21 metros
Ancho de calzada en cada sentido	2 carriles de 7 m. más acotamiento de 2.5 m., separados por barrera central o camellón de 2 metros
Pendiente gobernadora	5 %, es decir, 6 % menos que la vía anterior, lo cual representa mayor seguridad y menor desgaste en los vehículos.
Grado máximo de curvatura	2 grados 45', curvas abiertas y fáciles de tomar; la vía anterior tenía curvas de hasta 9 grados.
Velocidad de proyecto	110 km/h que es casi lo doble de algunos tramos de la vía anterior, que tenía tramos de 60 km/h.

- Trazo de la autopista

El trazo de la nueva autopista (lámina 10) coincide con el de la vía anterior sólo en dos puntos: el bulevar de Chilpancingo y la entrada a Acapulco. En el primer caso, la vía vieja se une a la nueva y luego vuelve a su trazo anterior a la altura de Petaquillas; en el segundo, la carretera vieja entronca con la nueva autopista cerca de Acapulco para formar una sola vía hasta el Puerto

A partir de Puente de Ixtla, Mor., y hasta Chilpancingo Guerrero, la autopista tiene un trazo que corre muchos kilómetros al Oriente de la vieja carretera. Ya no pasa por Iguala. Entre Chilpancingo y Tierra Colorada, ambas rutas se mantienen muy cerca. A partir de Tierra Colorada, el trazo de la autopista vuelve a desplazarse hacia el Oriente, para luego volver a entroncar con la antigua carretera cerca de Acapulco. Este nuevo trazo representa un ahorro de 64 kilómetros, es decir, una distancia cercana a la que hay entre México y Cuernavaca. Como su precedente, la nueva autopista cruza cinco ríos (Amacuzac, Mezcala, Omilán, Papagayo y Ejido).

- Tramos y Longitudes

TRAMO	LONGITUD (KM.)	SITUACIÓN
Acapulco-Tierra Colorada	47.2	En operación desde el 31/Oct/91
Tierra Colorada-Palo Blanco	32.1	En operación desde el 18/Dic/92
Palo Blanco-Chilpancingo	11.4	En operación desde el 15/Dic/91
Chilpancingo-Tehuixtla	130.4	En operación desde el 29/Ju/93
Tehuixtla-Puente de Ixtla	12.0	En operación desde el 31/Oct/91
Puente de Ixtla-Cuernavaca	28.4	En operación desde el 22/Oct/90

A los 261.5 km. de los tramos arriba mencionados, se debe añadir la vialidad del Viaducto Diamante y otros tramos accesorios. La longitud total de la autopista es de 274 km. y 431 m.

Concesionarios y Construcción

Para llevar a un buen fin su proyecto, el Gobierno de la República incorporó al programa carretero; un plan de colaboración entre el Estado y diferentes empresas privadas, mediante esquemas que permitan la continuidad mediante un financiamiento seguro y planes modernos para la construcción, explotación y conservación de las nuevas vías.

En el caso de las autopistas de cuota, cuyas especificaciones son de alto nivel y exigen fuertes inversiones, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes ha recurrido entre otros esquemas, al de la concesión por tiempo determinado a diferentes empresas privadas.

En el caso de la autopista Cuernavaca-Acapulco, el título de concesión fue otorgado por el Gobierno Federal, en Julio de 1989, a Grupo Mexicano de Desarrollo S.A. de C.V., para el tramo de Acapulco a Tierra Colorada, por 14 años y 8 meses, y en Diciembre de 1989 se le incorporo un adeudo para incluir el tramo Tierra Colorada-Cuernavaca, abarcando con ello a la totalidad de la autopista homónima de la empresa encargada por su operación y mantenimiento: Autopista del Sol, S.A. de C.V., formada por las tres constructoras que participaron.

Con el Grupo Mexicano de Desarrollo a la cabeza, como concesionario, se asociaron en participación varias instituciones para construir un fideicomiso de administración con la estructura siguiente:

<u>Fideicomitente</u>	<u>Aportación</u>
Constructoras	
Grupo Mexicano de Desarrollo, S.A. de C.V.	30 %
Ingenieros Civiles Asociados, S.A. de C.V.	
Triturados Basálticos y Derivados, S.A. de C.V.	
Caminos y Puentes Federales (SCT)	20 %
Pemex	5 %
Gobierno del Estado de Guerrero	5 %
Sindicato de Bancos	40 %
Sorfin, Comermex, B. del Atlantico, Cremi, Promex y Banpals	

El costo total del proyecto, que es del orden de 2.8 billones de pesos de 1989, implica que la recuperación debe realizarse sobre la base de 423.09 pesos ponderados por kilometro si se considera que la autopista 274 km., el tránsito beneficiado será de 4070 vehículos por día, con una tasa de crecimiento anual de 4% anual, y la concesión es a 14 años y 8 meses. La tabla siguiente muestra la estimación para la viabilidad económica, según tres perspectivas*

Estimación	Conservadora	Esperada	Optimista
Tasa de crecimiento de tránsito 4 %	4%	5.33%	10% hasta el año 2000, 6% despues año 2000
Tasa de inflación para operación y conservación	15% hasta 1996, 12% despues 1996	13% hasta 1996, 10% despues 1996	11% hasta 1996, 8% despues 1996
Proporción de deuda (dólares:pesos)	30:70	60:40	70:30
Plazo (dólares:pesos)	8:7	10:8	12:9
Tasa de interés en dólares (margen sobre bonos del Tesoro)	6% 12.5%	4.55% 8.5%	3.5% 6.5%
Tasa de devaluación del peso	7%	5%	3%
Tasa de crecimiento de la Tarifa	15% hasta 1996, 12% despues 1996	13% hasta 1996, 10% despues 1996	11% hasta 1996, 8% despues 1996

*La viabilidad económica y financiera se mide por el porcentaje de cobertura combinado de los bonos de refinanciamiento, denominados en pesos y dólares para cada estimación. Si el flujo de efectivo neto es igual o mayor que el servicio de la deuda, el estudio indica que esta autopista es financiera y

operativamente viable.

- Construcción

La construcción se inicio en Septiembre de 1989. El tramo entre Acapulco y Chilpancingo (aproximadamente 114 km. incluyendo la vialidad de acceso al Puerto) quedo al cargo de Grupo Mexicano de Desarrollo; a partir de Chilpancingo y hasta 70 km. adelante en dirección a Cuernavaca, la obra fue realizada por ICA, y el resto (aproximadamente 90 kilómetros), hasta el entronque Palmira en Cuernavaca, correspondió a TRIBASA. Esta distribución de tareas fue, en realidad mas formal que real, dado que las tres constructoras colaboraron en todos los tramos.

En la obra participaron más de 11 mil personas y se utilizaron más de 3600 unidades de diferentes equipos y maquinaria, según nos muestra una evaluación hecha en Marzo de 1993, muy cerca de la conclusión del proyecto:

Personal	GMD	ICA	TRIBA SA	Total	Maquin aria y Equipo	GMD	ICA	TRIBA SA	Total
Ingenieros	200	200	210	610	Pesado	420	480	500	1400
Técnicos	228	245	215	688	Mediano	360	380	300	1040
Trabajadores	3020	3373	3320	9713	Transporte	440	380	360	1180
Total	3448	3818	3745	11011	Total	1220	1240	1160	3620

Las obras sobresalientes de este proyecto se mencionan adelante, puentes túneles y otras

estructuras.

También entre estas obras las llamadas "menores", por ejemplo, las excavaciones (56 millones de metros cúbicos de corte), el relleno de terraplenes (un volumen similar), voladuras (se utilizaron mas de 15 toneladas de explosivos), las obras de drenaje, cimentaciones, construcción de estructuras, terracerías, pavimentación, entronques, pasos a desnivel, andadores, cruceros para ganado, señalización, obras secundarias (servicios y otras) y la coordinación de millares de hombres, vehículos, y unidades de maquinaria para realizar todo el proyecto en 46 meses, lo que hace un promedio de 5.7 km. por mes, incluyendo 4 túneles (un de casi 400 m. de largo), 36 puentes ordinarios y diez puentes especiales, un o de los cuales tiene una longitud de 890 m., con su calzada a 166 m. de altura.

- Obras sobresalientes.

A lo largo de sus 274 kilómetros, la autopista exigió el despliegue de las técnicas constructivas para seguir un trazo lo mas recto posible, cruzando la Sierra Madre, sus montañas y hondonadas.

La autopista tiene 49 estructuras importantes, entre las que destacan 10 puentes especiales y cuatro túneles. Además, las obras accesorias, incontables, incluyen pasos vehiculares y ganaderos cada 2.5 km., aproximadamente un millar de obras de drenaje, 4 casetas principales (La Venta, en Acapulco; Palo Blanco en Chilpancingo; Paso Morelos, a la altura de Huitzuco, y Alpuyecá) y 13 entronques con carreteras federales y regionales en Palmira, Burgos, Brisas, Santa Fe, Xochitepec, Alpuyecá, Puente de Ixtla, Tehuixtla, Paso Morelos, Piedras Prietas, Petaquillas, Tierra Colorada y la Venta (Acapulco).

En la tabla de la siguiente página se indica el kilometro en que se encuentra cada obra, en adelante se describe alguna característica particular de la misma.

Nombre	Kilometro
Puente Quetzalapa	166
Túnel Los Querendes	182
Puente Mezcala-Solidaridad	221
Puente Barranca El Cañón	236
Puente Barranca El Zapote	256
Túnel Agua de Obispo	302
Puente Papagayo	328
Túnel Tierra Colorada	332

Puente Quetzalapa.

Con 425 m. de longitud y 113.5 m. de altura máxima, este puente ocupa el cuarto lugar en dimensiones entre los puentes atirantados en México. Salva una hondonada de casi 500 m. ubicada en el km. 166 de la autopista, en el estado Guerrero. Corresponde al tramo construido por Tribasa

Túnel los Querendes

Se trazo para librar una zona arqueológica de ruinas olmecas, a la altura del kilometro 182 de la autopista, este túnel tiene 88 metros de longitud. Lo construyo Tribasa

Puente Mezcala Solidaridad

El más elevado (166 m. en las pilas a nivel de calzada) y el segundo más largo (890 m.) de los puentes mexicanos y uno de los tres más altos del mundo, este puente destaca por su belleza. Corresponde al tramo construido por ICA.

Puente Barranca El Cañón

Ubicado en el km. 236, unos 15 kilómetros adelante de Tula del Río, yendo hacia Acapulco, este puente atirantado es uno de los cinco más grandes de su tipo en México. Tiene una longitud de 260.8 m. y una altura máxima de 68.47 m.

Puente Barranca El Zapote

Gemelo del puente Barranca el Cañón, se encuentra en el km. 256 y es también uno de los cinco más grandes de la república.

Tiene 268 m. de longitud y un altura máxima de 85 metros. Ambos los construyó Grupo Mexicano de Desarrollo.

Túnel Agua de Obispo

Se trata en realidad de dos túneles gemelos construidos en el km. 302 de la autopista, con una longitud de 395 m. y una altura libre de 9 m. La tarea de construcción de esta obra, compleja por el gran volumen de materiales desplazados se prefirió sobre otros trazos posibles para preservar una de las pocas reservas forestales con las que cuenta el estado de Guerrero. Corresponde a Grupo Mexicano de Desarrollo.

Puente Papagayo

Es un puente acostillado que mide 315 m. de longitud y tiene una altura máxima, entre pilas, de 79 metros. Esta especialmente diseñado para resistir los ataques del intemperismo. Se encuentra en el kilómetro 328 y corresponde al tramo de Grupo Mexicano de Desarrollo.

Túnel Tierra Colorada

Se trata de dos túneles gemelos, con una longitud de 274 m. y una altura libre de 7.9 m. Esta obra, construida a la altura del kilómetro 332, ahorro 6 kilómetros respecto del mejor de los trazos alternativos, y cabe mencionar que su construcción se realizó con una eficiencia de 11 metros por día. Corresponde al tramo de Grupo Mexicano de Desarrollo.

2.2 Puente Quetzalapa

La obra se encuentra dentro del tramo que correspondió a TRIBASA que concesiono a CIESA para construir este puente, tanto el diseño como la supervisión corrió a cargo de TRIADA Y SCT.

2.2.1. Descripción General

El Puente Quetzalapa (Ilustración 1) se encuentra en el kilometro 166 de la autopista Cuernavaca-Acapulco, sobre el poblado de Quetzalapa, de ahí el origen de su nombre.

Quetzalapa esta a una distancia de 20 km. de la Cd. de Huitzuco, Gro., la cual conecta a 25 km. con la carretera federal actual.

El Puente Quetzalapa es de tipo alrantedo, con una longitud total de 424 m. en tangente, un ancho total de 21.4 m., siendo 15 m. de carpeta asfáltica 1.6 de camellón central y 4 m. de acotamientos laterales, permitiendo la circulación en 4 carriles de los cuales son dos en cada sentido.

La Subestructura proyecta 4 apoyos definidos como estribo No 1, Pila No 2, Pila No 3, Estribo No 4, la altura máxima considerando desde el nivel de desplante de zapata a la corona del pilón en pilas es de 127 m. y una mínima de 113 m. a la rasante es de 82.4 m. máxima y 68. 5 m. mínima, la rasante tiene una pendiente de 2.4 % del estribo No 1 al estribo No 4. El claro principal soportado por la pila No 2 y No 3 consta de 235 m. y el de los estribos respecto a cada una de las pilas de 94.5 m.

En las pilas su sección varía, en su arranque mide 8.43 m. por 14 m. decreciendo al nivel inferior de la calzada a 3 m. por 14 m., en las pilas ampliándose lateralmente a 24.6 m, de ancho en la rasante, incluidos los dos pilones que son del tipo "H" y a los cuales quedan anclados los tirantes.

La Superestructura esta formada a base de traveses de dovelas con concreto presforzado suspendidas en tirantes estructurados con torones de 5/8" de diámetro; sobre estas traveses se apoyan piezas de puente presforzadas integradas a las traveses y sobre dichas piezas de puente se colocaron losas de concreto reforzado; todos los elementos son precolados.

El Puente Quetzalapa posee una suspensión lateral con un atirantamiento que forma dos

semibánicos, mismos que se integran por 13 tirantes a ambos lados con longitudes variables y constituidas por torones de 15 mm. de diámetro . Una idealización de la geometría del perfil del puente se observa en la Ilustración 2.

2.2.2, Fases de Construcción

Se exponen a continuación de manera muy general las fases de construcción tanto de la subestructura como de la superestructura del Puente Quetzalapa:

Fase No 1 (Ilustración 3)

Se realizan excavaciones para cimentaciones de pilas 2 y 3, estribos 1 y 4.

Se construyen estribos 1 y 4.

Se construyen estribos 1 y 4

Se construyen zapatas de pilas 2 y 3

Se construyen pilas 2 y 3

Se construyen pilones 2 y 3

Fase No 2 (Ilustración 4)

Se construyen dovelas (coladas en sitio) sobre pila No 2 y No 3

Se aplica presfuerzo en dovelas sobre pilas No 2 y No 3

Se instalan y tensan tirantes T201 en pila No 2 y T301 en pila No 3 al 100% de la fuerza inicial de tensado.

Se retira cimbras de dovela colada en sitio

Fase No 3 (Ilustración 5, 6, 7)

Se coloca equipo de montaje entre tirantes T201 y T301

Se instalan y presfuerzan provisionalmente dovelas D-47, D-48, D-49 y D-50; D-143, D-144, D-145 y D-146

Se instalan y presfuerzan provisionalmente dovelas D-45, D-46, D-51 y D-52; D-141, D-142, D-147 y D-148

Se efectuó colado de liga entre dovelas indicadas

Se tensa el presfuerzo provisional adicional cuando se alcance el 70 % de la resistencia de proyecto en los colados de liga

Se instalan y tensan parcialmente los tirantes T202 y T302 hasta alcanzar el 35% de su fuerza inicial de

tensado

Se instalan y presfuerzan piezas de puente P-23, P-24, P-25 y P-26; P-72, P-73, P-74 y P-75.

Se instalan losas L-23 y L-24; L-71 y L-72

Se aplica presfuerzo definitivo (cables 19T15)

Se construyen losas coladas en sitio entre dovelas sobre pila 2 y piezas de puente P-24 y P-25; así como las localizadas entre dovelas sobre pila 3 P-73 y P-74.

Se retensan los tirantes de esta etapa hasta alcanzar el 100% de su fuerza inicial de tensado

Fase No 4

Se coloca equipo de montaje entre T202 y T302

Se instalan y presfuerzan provisionalmente dovelas D-43, D-44, D-53 y D-54; D-139, D-140, D-149 y D-150

Se instalan y presfuerzan provisionalmente dovelas D-41, D-42, D-55 y D-56; D-137, D-138, D-151 y D-152

Se efectúa colado de liga entre dovelas indicadas

Se tensa presfuerzo provisional adicional cuando se alcance 70% de la resistencia de proyecto en los colados de liga

Se instalan y tensan parcialmente los tirantes T203 y T303 hasta alcanzar el 35 % de su fuerza inicial de tensado

Se instalan y presfuerzan piezas de puente P-21 y P-22, P-27 y P-28; P-70 y P-71, P-76 y P-77.

Se instalan losas L-22 y L-25; L-70 y L-73.

Se aplica presfuerzo definitivo

Se retensan los tirantes de esta etapa hasta alcanzar el 100% de su fuerza inicial de tensado

Se instalan losas L-21 y L-26; L-68 y L-74.

Fase No 5

Se coloca equipo de montaje entre T203, T303

Se instalan y presfuerzan provisionalmente dovelas D-39, D-40, D-57 y D-58; D-135, D-136, D-153 y D-154.

Se instalan y presfuerzan provisionalmente dovelas D-37, D-38, D-59 y D-60; D-133, D-134, D-155 y D-156.

Se efectúa colado de liga entre dovelas indicadas

Se tensa presfuerzo provisional adicional cuando se alcance el 70% de la resistencia de proyecto en los colados de liga

Se instalan y tensan parcialmente los tirantes T204 y T304 hasta alcanzar el 35 % de su fuerza inicial de tensado

Se instalan y presfuerzan piezas de puente P-19, P-20, P-29 y P-30; P-68, P-69, P-78 y P-79

Se instalan losas L-20 y L-27; L-68 y L-75

Se aplica presfuerzo definitivo (cables 19T15)

Se retensan los tirantes de esta etapa hasta alcanzar el 100 % de su fuerza inicial de tensado

Se instalan losas L-19 y L-28; L-67 y L-76

Fase No 6

Se coloca equipo de montaje entre T204 y T304

Se instalan y presfuerzan provisionalmente dovelas D-35, D-36, D-61 y D-62; D-131, D-132, D-157 y D-158.

Se instalan y presfuerzan provisionalmente dovelas D-33, D-34, D-63 y D-64; D-129, D-130, D-159 y D-160

Se efectúa colado de liga entre dovelas indicadas

Se tensa presfuerzo provisional adicional cuando se alcanza 70 % de la resistencia de proyecto en los colados de liga

Se instalan y tensan parcialmente los tirantes T205 y T305 hasta alcanzar el 35 % de su fuerza inicial de tensado

Se instalan y presfuerzan piezas de puente P-17, P-18, P-31 y P-32; P-66, P-67, P-80 y P-81.

Se instalan losas L-18 y L-29; L-66 y L-77.

Se aplica presfuerzo definitivo (cables 19T15).

Se retensan los tirantes de esta etapa hasta alcanzar el 100 % de su fuerza inicial de tensado.

Se instalan losas L-17 y L-30; L-65 y L-78.

Se retira presfuerzo provisional instalado en fase No 3

Fase No 7

Se coloca equipo de montaje entre T205 y T305

Se instalan y presfuerzan provisionalmente dovelas D-31, D-32, D-65 y D-66; D-127, D-128, D-161 y D-162.

Se instalan y presfuerzan provisionalmente dovelas D-29, D-30, D-67 y D-68; D-125, D-126, D-163 y D-164.

Se efectúa colado de liga entre dovelas indicadas.

Se tensa presfuerzo provisional adicional cuando se alcance el 70 % de la resistencia de proyecto en los colados de liga.

Se instalan y tensan parcialmente los tirantes T206 y T306 hasta alcanzar el 35 % de su fuerza inicial de tensado.

Se instalan y presfuerzan piezas de puente P-15, P-16, P-33 y P-34; P-64, P-65, P-82 y P-83.

Se instalan losas L-16 y L-31; L-64 y L-78.

Se aplica presfuerzo definitivo

Se retensan los tirantes de esta etapa hasta alcanzar el 100 % de su fuerza inicial de tensado.

Se instalan losas L-15 y L-32, L-63 y L-80.

Se retira presfuerzo provisional instalado en fase No 4.

Fase No 8

Se coloca equipo de montaje entre T206 y T306.

Se instalan y presfuerzan provisionalmente dovelas D-27, D-28, D-69 y D-70; D-123, D-124, D-165 y D-166.

Se instalan y presfuerzan provisionalmente dovelas D-25, D-26, D-71 y D-72; D-121, D-122, D-167 y D-168.

Se efectúa colado de liga entre dovelas indicadas

Se tensa presfuerzo provisional adicional cuando se alcance el 70 % de la resistencia de proyecto en los colados de liga.

Se instalan y tensan parcialmente los tirantes T207 y T307 hasta alcanzar 35% de su fuerza inicial de tensado.

Se instalan y presfuerzan piezas de puente P-13, P-14, P-35 y P-36; P-62, P-63, P-84 y P-85.

Se instalan losas L-14 y L-33; L-81 y L-82.

Se aplica presfuerzo definitivo (cables 19T15)

Se retensan los tirantes de esta etapa hasta alcanzar el 100 % de su fuerza inicial de tensado.

Se instalan losas L-13 y L-34; L-61 y L-82.

Se retira presfuerzo provisional instalado en fase No 5.

Fase No 9

Se coloca equipo de montaje entre T207 y T307.

Se instalan y presfuerzan provisionalmente dovelas D-23, D-24, D-73 y D-74; D-119, D-120, D-169 y D-170.

Se instalan y presfuerzan provisionalmente dovelas D-21, D-22, D-75 y D-76; D-117, D-118, D-171 y D-172.

Se efectúa colado de liga entre dovelas indicadas.

Se tensa presfuerzo provisional adicional cuando se alcance el 70 % de la resistencia de proyecto de los colados de liga.

Se instalan y tensan parcialmente los tirantes T208 y T308 hasta alcanzar el 35 % de su fuerza inicial de tensado.

Se instalan y presfuerzan piezas de puente P-11, P-12, P-37 y P-38; P-60, P-61, P-86 y P-87.

Se instalan losas L-12 y L-35; L-60 y L-83.

Se aplica presfuerzo definitivo (cables 19T15).

Se retensan los tirantes de esta etapa hasta alcanzar el 100 % de su fuerza inicial de tensado.

Se instalan losas L-11 y L-36; L-59 y L-84.

Se retira presfuerzo provisional instalado en fase No 6.

Fase No 10

Se coloca equipo de montaje entre T208 y T308.

Se instalan y presfuerzan provisionalmente dovelas D-19, D-20, D-77 y D-78; D-115, D-116, D-173 y D-174.

Se instalan y presfuerzan provisionalmente dovelas D-17, D-18, D-79 y D-80; D-113, D-114, D-175 y D-176.

Se efectúa colado de liga entre dovelas indicadas.

Se tensa presfuerzo provisional adicional cuando se alcance el 70 % de la resistencia de proyecto de los colados de liga.

Se instalan y tensan parcialmente los tirantes T209 y T309 hasta alcanzar el 35 % de su fuerza inicial de tensado.

Se instalan y presfuerzan piezas de puente P-9, P-10, P-39 y P-40; P-58, P-59, P-88 y P-89.

Se instalan losas L-10 y L-37; L-58 y L-85.

Se aplica presfuerzo definitivo (cables 19T15).

Se retensan los tirantes de esta etapa hasta alcanzar el 100 % de su fuerza inicial de tensado.

Se instalan losas L-9 y L-38; L-57 y L-86.

Se retira presfuerzo provisional instalado en fase No 7.

Fase No 11

Se coloca equipo de montaje entre T209 y T309.

Se instalan y presfuerzan provisionalmente dovelas D-15, D-16, D-81 y D-82; D-111, D-112, D-177 y D-178.

Se instalan y presfuerzan provisionalmente dovelas D-13, D-14, D-83 y D-84; D-109, D-110, D-179 y D-180.

Se efectúa colado de liga entre dovelas indicadas.

Se tensa presfuerzo provisional adicional cuando se alcance el 70 % de la resistencia de proyecto de los colados de liga.

Se instalan y tensan parcialmente los tirantes T210 y T310 hasta alcanzar el 35 % de su fuerza inicial de tensado.

Se instalan y presfuerzan piezas de puente P-7, P-8, P-41 y P-42; P-56, P-57, P-90 y P-91.

Se instalan losas L-8 y L-39; L-56 y L-87.

Se aplica presfuerzo definitivo (cables 19T15).

Se retensan los tirantes de esta etapa hasta alcanzar el 100 % de su fuerza inicial de tensado.

Se instalan losas L-7 y L-40; L-55 y L-88.

Se retira presfuerzo provisional instalado en fase No 8.

Fase No 12

Se coloca equipo de montaje entre T210 y T310.

Se instalan y presfuerzan provisionalmente dovelas D-11, D-12, D-85 y D-86; D-107, D-108, D-181 y D-182.

Se instalan y presfuerzan provisionalmente dovelas D-9, D-10, D-87 y D-88; D-105, D-106, D-183 y D-184.

Se efectúa colado de liga entre dovelas indicadas.

Se tensa presfuerzo provisional adicional cuando se alcance el 70 % de la resistencia de proyecto de los colados de liga.

Se instalan y tensan parcialmente los tirantes T211 y T311 hasta alcanzar el 35 % de su fuerza inicial de tensado.

Se instalan y presfuerzan piezas de puente P-5, P-6, P-43 y P-44; P-54, P-55, P-92 y P-93.

Se instalan losas L-6 y L-41; L-54 y L-89.

Se aplica presfuerzo definitivo (cables 19T15).

Se retensan los tirantes de esta etapa hasta alcanzar el 100 % de su fuerza inicial de tensado.

Se instalan losas L-5 y L-42; L-58 y L-90.

Se retira presfuerzo provisional instalado en fase No 9.

Fase No 13

Se coloca equipo de montaje entre T211 y T311.

Se instalan y presfuerzan provisionalmente dovelas D-7, D-8, D-89 y D-90; D-103, D-104, D-185 y D-186.

Se instalan y presfuerzan provisionalmente dovelas D-5, D-6, D-87 y D-88; D-108, D-109, D-187 y D-188.

Se efectúa colado de liga entre dovelas indicadas.

Se tensa presfuerzo provisional adicional cuando se alcance el 70 % de la resistencia de proyecto de los colados de liga.

Se instalan y tensan parcialmente los tirantes T211 y T311 hasta alcanzar el 35 % de su fuerza inicial de tensado.

Se instalan y presfuerzan piezas de puente P-3, P-4, P-45 y P-46; P-52, P-53, P-94 y P-95.

Se instalan losas L-4 y L-48; L-52 y L-91.

Se aplica presfuerzo definitivo (cables 19T15).

Se retensan los tirantes de esta etapa hasta alcanzar el 100 % de su fuerza inicial de tensado.

Se instalan losas L-3 y L-44; L-51 y L-92.

Se retira presfuerzo provisional instalado en fase No 10.

Fase No 14

Se coloca equipo de montaje entre T212 y T312.

Se instalan y presfuerzan provisionalmente dovelas D-3, D-4, D-93 y D-94; D-99, D-100, D-189 y D-190.

Se instalan y presfuerzan provisionalmente dovelas D-1, D-2, D-95 y D-96; D-97, D-98, D-191 y D-192.

Se efectúa colado de liga entre dovelas indicadas.

Se tensa presfuerzo provisional adicional cuando se alcance el 70 % de la resistencia de proyecto de los colados de liga.

Se instalan y tensan parcialmente los tirantes T213 y T313 hasta alcanzar el 35 % de su fuerza inicial de tensado.

Se instalan y presfuerzan piezas de puente P-1, P-2, P-47 y P-48; P-51, P-52, P-96 y P-97.

Se coloca polietileno expandido en área bajo losas L-1 y L-2; L-93 y L-94.

Se instalan losas inferiores en área bajo losas L-2 y L-93.

Se aplica presfuerzo definitivo (cables 19T15).

Se retensan los tirantes de esta etapa hasta alcanzar el 100 % de su fuerza inicial de tensado.

Se instalan losas inferiores en área bajo losas L-1 y L-94.

Se colocan apoyos en estribos No 1 y estribo No 4.

Fase No 15

Se construyen diafragmas en extremos del puente colados en sitio.

Se construye dovela de cierre.

Se instala losa inferior entre diafragma extremo (E-1) y P-1; y diafragma extremo (E-4) y P-97.

Se coloca material de lastre

Se instalan losas L-1, L-2 y L-47; L-48, L-93 y L-94.

Se construye en sitio losa superior entre diafragma extremo (E-1) y P-1; y diafragma extremo (E-4) y P-97.

Se construyen losas en dovelas sobre pilas 2 y 3.

Se colocan juntas de expansión.

Se aplica en la superficie superior del tablero un sistema impermeabilizante.

Se coloca carpeta asfáltica y guarniciones.

2.3. Estudio Geológico

Se realizó con todo detalle un levantamiento topográfico que tuvo por objeto definir el eje del cruce en el sitio seleccionado, la longitud total de la estructura y la posición requerida de los apoyos.

Fueron realizados varios sondeos en el subsuelo en un perímetro de 200 metros y una longitud de 600 m. para un sondeo. La mayor profundidad a la que se llegó fue del orden de 50 metros. La ubicación de los sondeos se determinó conforme a la posición de los apoyos, prevista en los anteproyectos.

Durante la exploración se combinó el procedimiento de penetración estándar con el muestreo inalterado con tubo Shelby de pared delgada.

Por medio de ensayos de laboratorio, se determinaron las propiedades índice de los materiales, tales como límites de plasticidad, peso volumétrico, densidad de sólidos, curvas granulométricas, etc.

Dadas las características friccionantes del tipo de roca en la zona de los apoyos 2 y 3 se recomendó cimentación superficial con una capacidad de carga de 55 ton/m², que se determinó según el criterio de Terzaghi.

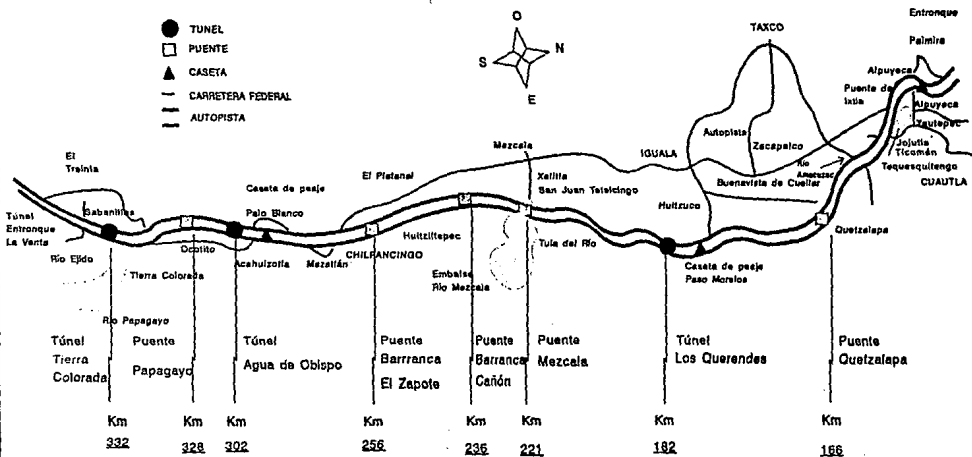
En la ilustración 8 puede observarse el perfil de la barranca y los puntos donde se situaron los apoyos de la subestructura.

Queda definida también dentro de la estrategia geográfica de la obra, el patio de manobras, ubicado en Quetzalapa, el campamento, ubicado en Huitzucó, y entre ambos poblados, el patio de almacenaje que es donde se revisan y prueban los elementos prefabricados así como el equipo de montaje.

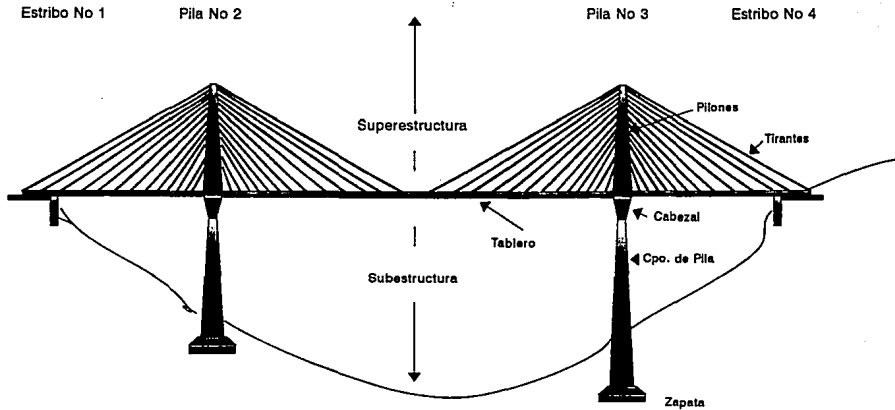
Acapulco

Cuernavaca

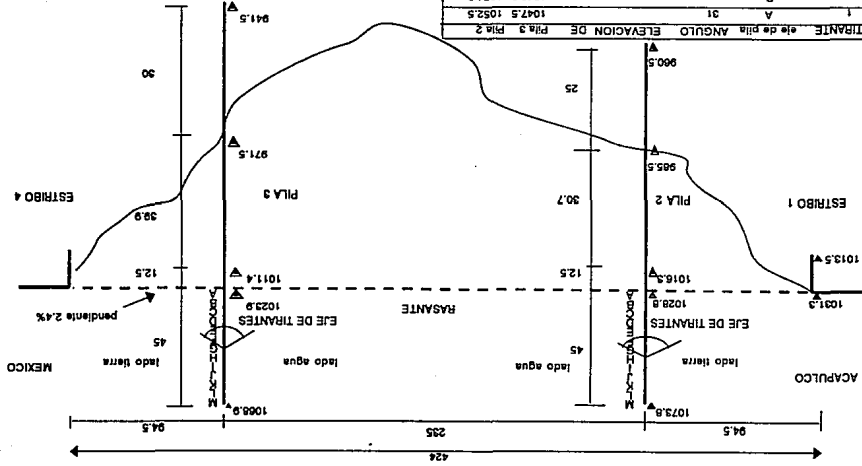
- TUNEL
- PUENTE
- ▲ CASETA
- CARRETERA FEDERAL
- == AUTOPISTA



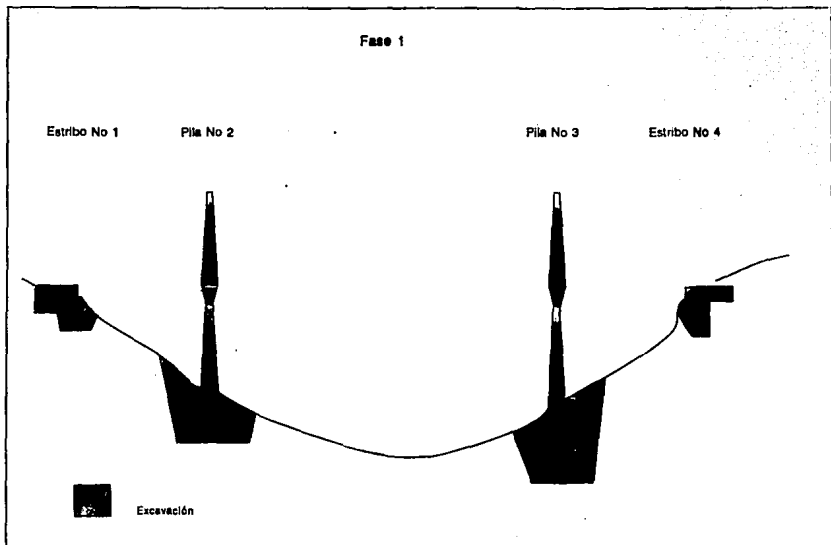
**PUENTE QUETZALAPA
ELEMENTOS PRINCIPALES**



IDEALIZACION DE LA GEOMETRIA
PUENTE QUETZALAPA



TIRANTE	ele de pila	ANGULO	ELEVACION DE Pila 3	Pila 2
1	A	31	1047.5	1052.5
2	B	60	1049.0	1054.0
3	C	80	1050.5	1055.5
4	D	95	1052.0	1057.0
5	E	106.8	1053.5	1058.5
6	F	112.8	1055.0	1060.0
7	G	118.4	1056.5	1061.5
8	H	122	1058.0	1063.0
9	I	126	1059.5	1064.5
10	J	130	1061.0	1066.0
11	K	132	1062.5	1067.5
12	L	134	1064.0	1069.0
13	M	136	1065.5	1070.5



ILUSTRACION 3

Fase 2

Estribo No 1

Pila No 2

Pila No 3

Estribo No 4

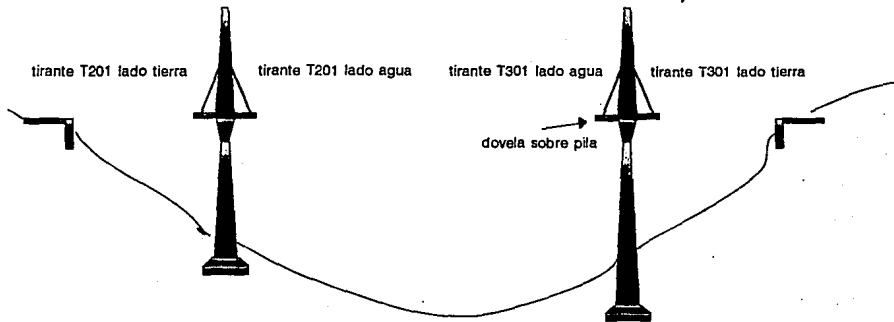
tirante T201 lado tierra

tirante T201 lado agua

tirante T301 lado agua

tirante T301 lado tierra

dovela sobre pila



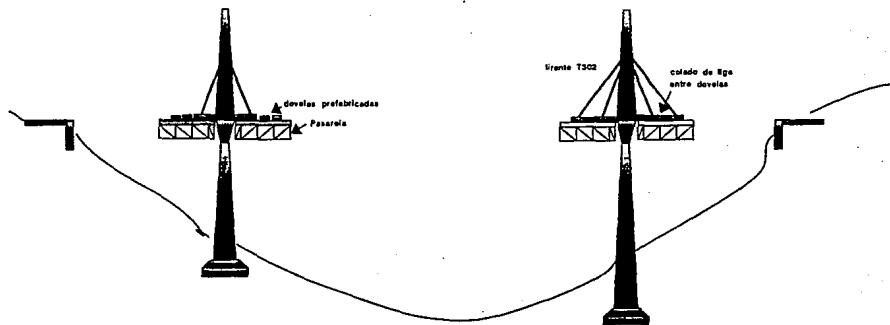
Fase 3

Estribo No 1

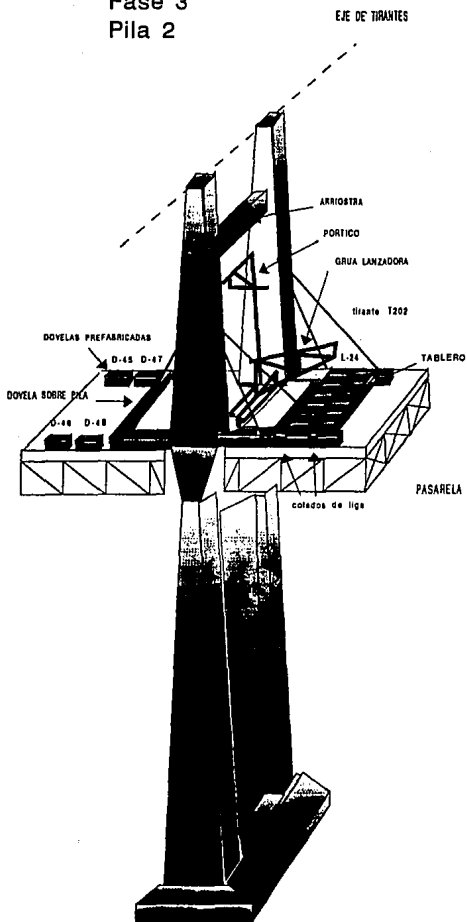
Pila No 2

Pila No 3

Estribo No 4



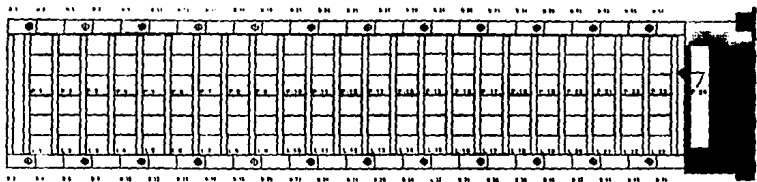
Fase 3
Pila 2



Fase 3
Vista en planta del tablero
PILA 2

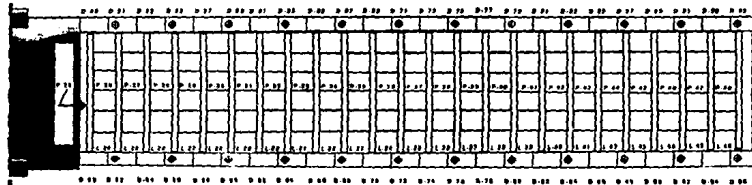
ESTRIBO 1

Eje de tirantes



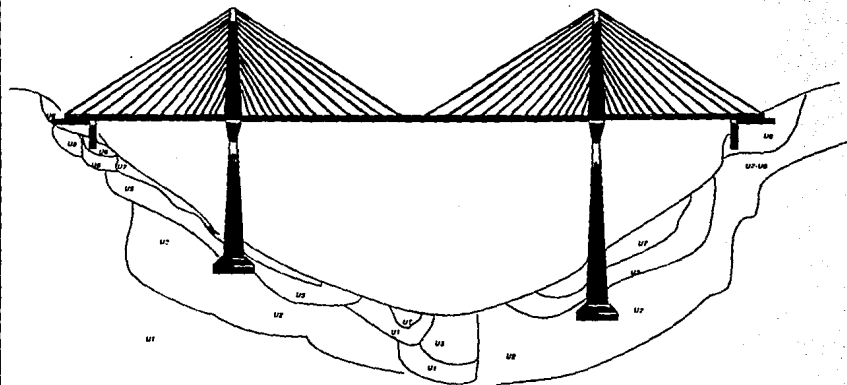
Eje de tirantes

1/2 CLARO CENTRAL



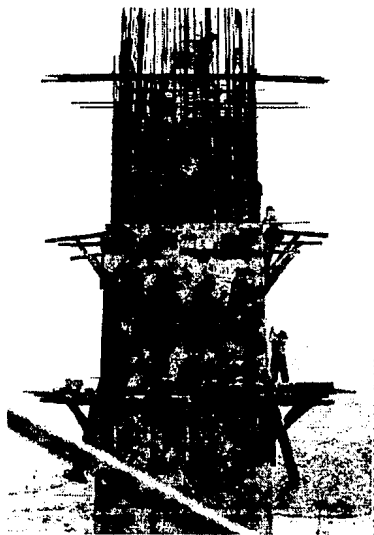
PREFABRICADOS
L- LOSAS
D- DOVELAS
P- PIEZAS DE PUENTE

Perfil geológico de la barranca del Puente Quetzalapa



SIMBOLOGIA

- U1 F. Suelto fino
- U2 F. Rutilos grueso y Anarado
- U3 Arena de Terciarias
- U4 Arena de Terciarias muy silíceas y grava
- U5 Capas de fósil con fragmentos de shells
- U6 Caza (marol)
- U7 Suelo volcánica



ARMADO EN PILON

CAPITULO 3

Capítulo 3

... Procedimiento Constructivo

3.1. Pila No. 2, Pila No. 3

Excavación, Cimentación, Cuerpo de Pila, Cabezal, Dovela sobre Pila, Pilones y Arriestra.

- Pila No. 2 (ilustración 9)

La altura total de la Pila No 2 es de 113.5 m, divididos en 5 partes:

Elemento	Dimensiones metros	Acero pulgadas	Concreto metros cúbicos
Zapata	20x14x4.4	71.93	1100.4
Cpo. de Pila	51.25	169	872
Cabezal	11	60	313
Dovela s/pila	1.75	44	432.3
Pilones	45	139	544

La pila No. 2 cuenta también con una riostra que une a los dos pilones en una distancia de 18.4 m. cuenta además con 52 tirantes divididos en dos medias arpas de 26 tirantes cada cual tiene 13 tirantes de cada lado.

Cada tirante se forma con torón tipo Beckaert variando de un mínimo de doce torones hasta un máximo de treinta y dos torones. Con una longitud mínima de 25.36 m. y una máxima de 114.43 m.

La construcción de pila No. 2 y No. 3 se llevo a cabo de la misma forma con la diferencia de que la pila No 2 posee menor altura que la pila No. 3 se describe a continuación las etapas de construcción de la pila No. 2

El cruce de la barranca queda definido por el trazo de la autopista, el "origen" del puente se definió en el estribo No 1, altitud 1031.3 m.s.n.m. En este lugar se inician los trabajos de construcción del Puente Quetzalapa. A la vez se sitúan los puntos donde se ubican las pilas 2 y 3 y el estribo No 4. Como el trazo del puente es recto la ubicación longitudinal de dichas pilas se considera desde los estribos verificando constantemente su alineamiento, para situarlas en la vertical, es decir con respecto al perfil de la barranca se usan bancos de nivel en la ladera sobre los que se colocan teodolitos, para situar los puntos donde se excava y así recibir la cimentación de la pila 2 y 3. Dicha cimentación consiste en zapatas aisladas.

Los trabajos de excavación se hacen en dos etapas, quedando divididas estas, sólo por el volumen, en la primera se truena un 60% y luego mediante equipo de trituración y martillo el restante quedando conformado un cajón de desplante, se utiliza para este trabajo explosivos y trituradoras, se rezaga el material con el auxilio de retroexcavadora con adaptación de martillo, una retroexcavadora, dos tractores y un traxcavo, finalmente se realiza el afine del terreno, limpiando y sopleteando para colocar la plantilla de desplante.

Tendida la plantilla que uniforma los esfuerzos transmitidos por el puente al terreno (macizo rocoso) se procede a colar la zapata colocando la retícula (un armado convencional que cuenta con varillas de 1 1/2" separadas entre 20 y 30 cms.) en la cual se procura traslapar el 33% como máximo en cada sección. El colado de la base de la zapata, en su primera etapa, se hace sin cimbra y utilizando un concreto con resistencia $f_c=250 \text{ Kg/cm}^2$, contando para su colocación con 7 camiones revoladores de 6 m³ cada uno, dos bombas para concreto tipo pluma de 36 m, dos bombas para concreto estacionarias y dos pipas para surtir agua de 9000 litros cada una. En dicho colado se utilizan 58.5 m³ de concreto. La sección geométrica de la base de la zapata en proyecto es rectangular, teniendo 14 metros por un lado y 20 m. por otro, y una superficie de 280 m², sin embargo, para un mejor empotramiento con el terreno se aprovechan las paredes producto de la excavación, para delinear el rectángulo base de la zapata.

Una vez concluido el colado de la zapata se da inicio a las etapas de colado de cuerpo de pila con una elevación inicial en pila 2 de 965 metros sobre nivel del mar, cada una de ellas tiene un avance promedio de 2 m. Se muestra en la siguiente tabla las elevaciones y la geometría de que se constituye el cuerpo de pila.

ELEVACION	LONGITUD (METROS)				AREA(M2)
	A	B	C	D	
965	7.306	4.3	5.4	4.154	19.844
967.44	7.101	"	"	4.051	18.557
969.84	6.899	"	"	3.950	19.274
972.24	6.697	"	"	3.849	18.992
974.64	6.496	"	"	3.748	18.710
977.04	6.294	"	"	3.648	18.428
979.44	6.092	"	"	3.547	18.145
981.84	5.891	"	"	3.446	17.863
984.24	5.689	"	"	3.347	17.581
986.64	5.488	"	"	3.244	17.299
989.04	5.286	"	"	3.143	17.016
992.04	5.034	"	"	3.017	16.663
995.04	4.782	"	"	2.891	16.311
998.04	4.530	"	"	2.765	15.958

Elevación	A	B	C	D	
1001.04	4.276	"	"	2.639	15.605
1004.04	4.026	"	"	2.513	15.252
1007.04	3.774	"	"	2.387	14.899
1010.04	3.522	"	"	2.261	14.547
1013.04	3.270	"	"	2.135	14.194
1015.04	3.102	"	"	2.051	13.959
1016.256	3.00	"	"	2.00	13.816

La sección de dicho elemento se observa en la ilustración 10

Su procedimiento de construcción es convencional y cíclico hasta la octava etapa, consistiendo en términos generales en: habilitado de acero (varillas de 1 1/4" longitudinal y transversal con una separación aprox de 15 y 20 cms.), reunión de retículas de madera (cimbra de 2x2 m), colado mediante bombeo de concreto utilizando bomba pluma y vibrado, etc. Durante este proceso se cuida ir con la geometría de proyecto del cuerpo de pila así como también evitar la disgregación del concreto.

De la octava etapa en adelante se utiliza para construir el cuerpo de pila cimbra trepadora que es una estructura deslizante apoyada sobre la pared y que mediante unos pequeños brazos hidráulicos sujeta unos paneles de madera (cimbra) que permiten dar forma a la sección, con ella se logra mayor avance en las etapas de colado, con un promedio de 3 metros.

En la séptima etapa cuando la pila alcanza una altura de 18.44 m. se comienza el acarreo de material y el relleno de la zapata con material tipo c, esta labor se alterna con los trepados de cimbra. Es hasta la etapa No 16 que se termina el relleno en la pila conformando así el área de maniobras y trabajo al pie de la misma.

A partir de la 14 etapa o trepado se necesita de una torre grúa telescópica fija a un lado de la pila para habilitar de acero y beachas de concreto a la altura en que se trabaja.

Se muestra a continuación las características generales de la pila No. 3

- Pila No 3 (Ilustración 11)

La altura total de la pila No. 3 es de 127.39 m. divididos en cinco partes.

Elemento	Dimensiones metros	Acero pulgadas	Concreto metros cúbicos
Zapata	20x14x4.5	73.8	1100
Cpo. de Pila	65.14	221.1	1153.2
Cabezal	11	60	313
Dovela s/pila	1.75	44	432.3
Pilones	45	139	544

La pila No. 3 cuenta también con una riostra que une a los dos pilones en una distancia de 18.4 m. cuenta además con 52 tirantes divididos en dos medias arpas de 26 tirantes cada cual tiene 13 tirantes de cada lado.

Cada tirante se forma con torón tipo Beccaert, variando de un mínimo de 12 torones hasta un máximo de 37 torones, con una longitud mínima de 25.36 m. y una máxima de 114.43 m.

La sección geométrica del cuerpo de pila conserva las siguientes medidas con respecto a las elevaciones:

ELEVACION (m.s.n.m.)	LONGITUD (METROS)				AREA(M2)
	A	B	C	D	
948	8.472	4.3	5.4	4.74	21.316
948.44	8.267	"	"	4.637	21.028
950.84	8.065	"	"	4.536	20.746
953.24	7.863	"	"	4.435	20.464
955.64	7.662	"	"	4.334	20.182
958.04	7.460	"	"	4.233	19.899
960.44	7.259	"	"	4.132	19.617
962.84	7.057	"	"	4.031	19.335
965.24	6.855	"	"	3.930	19.053
967.64	6.654	"	"	3.829	18.770
970.04	6.452	"	"	3.728	18.488
972.44	6.251	"	"	3.627	18.206
974.84	6.049	"	"	3.526	17.924
977.24	5.847	"	"	3.426	17.642
979.64	5.646	"	"	3.325	17.359

En la ilustración 10 se observa la sección transversal hueca de la pila No 3

Los elementos comunes que forman parte de las pilas 2 y 3 son el cabezal, dovela sobre pila, pilones y arriostra.

- Cabezal.

Una vez terminados los trepados en el cuerpo de pila se construye el cabezal, la geometría de este responde a la necesidad del ancho de calzada, así como la rigidez del elemento que se logra a través del presfuerzo transversal.

Se construye alrededor de el cuerpo de pila la cimbra denominada plataforma de trabajo hecha de madera para colar prácticamente la mitad del cabezal. La construcción del mismo se efectúa en dos colados, cuidando principalmente la colocación de ductos donde se colocan los cables de presfuerzo transversal.

Durante la construcción del cabezal se emplean medios topográficos para vigilar constantemente la perfecta verticalidad del eje de la pila y la ausencia de cualquier posible giro de la sección

En el primer colado donde la sección de la pila es hueca se hace una especie de tapón por medio de un cimbrado colocado en el interior de la misma para construir una losa que logre continuidad estructural y la rigidez entre el termino de cuerpo de pila y nacimiento de cabezal.

El presfuerzo en el cabezal lo forman los cables de 12 torones de 13 mm cada uno tensados a una fuerza de 180 ton.

Los cables llevan un anclaje activo y uno pasivo, por tanto el tensado se hace de forma alternada; es decir 8 por un extremo y 8 por el otro, el acero utilizado es conforme a la Norma ASTM A-416 de calidad 270. Se usa concreto $f_c=250$ kg/cm² cuya compactación no es menor que 0.8 y con un tamaño máximo en el agregado de 19 cm.

- Dovela sobre pila.

Se construye al termino del cabezal para ofrecer una superficie de apoyo para la colocación posterior de los elementos prefabricados, también forma parte del nacimiento de la superestructura, pretendiendo ser un elemento rigidizante de la pila.

La cimbra para la construcción de la dovela sobre pila es denominada celosía para obra falsa, es

una estructura de acero formada por vigas rigidizadas que se colocan en las placas de apoyo, a su vez ancladas en el cabezal. Con ella se obtiene una plataforma de trabajo donde se hace el tendido de las varillas tanto longitudinal como transversal, se hace el colado al igual que en el cabezal mediante bacheo auxiliándose para esto de la torre grúa, se acomodan también en esta manobra los ductos de presfuerzo.

En cuanto a materiales se usa concreto $f_c = 400 \text{ kg/cm}^2$ cuya compactación no es menor de 0.8 con revenimiento de 6 a 8 cm. con tamaño máximo del agregado grueso de 2.5 cm. se vibra al colarlo y en caso de requerirse se emplea aditivo.

- Píloes.

Los elementos que nacen en el cabezal se llaman píloes, existen dos en cada pila, en ellos se anclan los tubos funda pasivos que alojan los cables de presfuerzo que soportan el tablero del puente o la superestructura. Su construcción se hace mediante colados por etapas utilizando cimbra trepadora deslizante.

La geometría de la sección es hueca con losas interiores hecha de concreto simplemente armado y además presforzados con barras dwidag.

- Arriostra.

La arriostra es el elemento que une a los píloes en la parte alta de la pila con el objeto de rigidizarla. Para construirla se utiliza un andamio colocado sobre la dovela de pila donde se coloca la cimbra que recibe al concreto armado. Es un elemento macizo hecho de concreto $f_c = 350 \text{ kg/cm}^2$; compactación > 0.8 ; revenimiento 6 a 4 cms.; tamaño máximo del agregado 2.5 cms.

Se construye en tres etapas, las dos primeras con un parate de 1.7 mts. y la tercera de 1.8 mts., donde se verifica que entre los colados la resistencia del concreto anterior tenga un 35 % como mínimo de la resistencia del proyecto.

Los materiales empleados en ella son: acero de refuerzo L.E. $\geq 4000 \text{ kg/cm}^2$ (30504 kg) y concreto $f_c = 350 \text{ kg/cm}^2$ (122 m³)

3.2. Estribo 3 y 4

Los apoyos No. 1 y No. 4 (Ilustración 12) son denominados estribos, cada cual se compone de dos cuerpos conocidos como cuerpo principal y estructura auxiliar. El cuerpo principal es un cajón hueco de concreto armado en forma de L invertida relleno de arena compactada al 90 % de su peso volumétrico y la estructura auxiliar apoyada sobre la principal es la plataforma donde se colocan los elementos mencionados adelante colados en sitio, desde donde se ofrece un apoyo multidireccional.

La característica principal de estos estribos es la construcción de los dos últimos ciclos que forman parte de la superestructura y abarcan los tirantes No. 12 y No. 13.

Los dos ciclos se componen de 8 dovelas precoladas y colocadas a partir del estribo hacia sus respectivas pilas ; 4 piezas de puente coladas en sitio de aproximadamente 50 toneladas cada una, entre cada una de estas piezas se colocan en el fondo losas prefabricadas y se rellena este espacio con concreto hidráulico (80%) y barita (20%) para formar la zona de lastre la cual sirve de contrapeso para el puente en sus extremos con un peso aproximado de 1200 ton. de cada lado.

Toda esta estructura queda asentada provisionalmente sobre gatos de arena hasta la conexión del tirante No. 13 a partir de ese momento queda la estructura trabajando sobre 4 apoyos multidireccionales tipo cazoleta para que absorban cualquier movimiento que existiese (amortiguadores).

Los trabajos de excavación en los estribos se realizan con explosivos, luego de tener el material triturado se acomoda y rezaga con una retroexcavadora sobre oruga con adaptación de cincel y una con "mano de chango". Limpia la zona se hace el tendido de la varilla del cuerpo principal, se cimbra la primera etapa y se hace el colado. Durante las siguientes etapas del colado de los estribos se alterna este proceso con el del relleno que es fundamentalmente de concreto ciclópeo.

3.3 Cuantificación general

ELEMENTO	ACERO KG.	CONCRETO M3.
ESTRIBO No 1		
Cuerpo principal	32781	335
Estructura auxiliar	23057	682.5
PILA No 2		
Zapata	71930	1100.4
Cpo. de Pila	169764	872
Cabezal	60000	313
Dovela s/pila	44298	432.3
Pilones	139000	544
Arriostra	30135	122
PILA No 3		
Zapata	73800	1100
Cpo. de Pila	221100	1153.2
Cabezal	60000	313
Dovela s/pila	44298	432.3
Pilones	139000	544
Arriostra	30135	122
ESTRIBO No 4		
Cpo. principal	21819	195

ESTRIBO No 4		
Estructura auxiliar	19883	201.5
SUPERESTRUCTURA		
Tablero (dovela, losa y pza. de puente)	988147	5287.9
Tirantes	211780	
Lastre		960
TOTAL	2390927	14690.1

El peso total del Puente es de 34,708 ton.

3.3.1. Cantidades de Obra

ESTRIBO	Me 1	Me 4
	UNIDADES	UNIDADES
CUERPO PRINCIPAL		
Concreto f' = 100 kg/cm ² en planilla de 5 cm. de espesor	4.1 m ³	4.1 m ³
Concreto f' = 250 kg/cm ²	331.7 m ³	166.8 m ³
Acero de refuerzo con L.E. = 4000 kg/cm ²	29490 kg	18944 kg
Refraso para letrero	94.4 m ³	94.4 m ³
ESTRUCTURA AUXILIAR		
Excavación	2712 m ³	8344 m ³
Refraso	1587 m ³	840 m ³
Concreto f' = 100 kg/cm ² en planilla de 5 cm. de espesor	16.6 m ³	17.8 m ³
Concreto f' = 250 kg/cm ² en losas y muros	245.9 m ³	171.5 m ³
Acero de refuerzo con L.E. = 4000 kg/cm ²	20276 kg	15181 kg
Tubería de PVC de 4" de diámetro	40 m	40 m
Planta de acero tubular	3.3 m ²	2.2 m ²
PILA	Me 2	Me 3
	UNIDADES	UNIDADES
ZAPATA		
Excavación	5429 m ³	5633 m ³
Refraso	1700 m ³	1700 m ³
Concreto f' = 100 kg/cm ² en planilla de 5 cm. de espesor	14 m ³	14 m ³
Concreto f' = 250 kg/cm ²	1100.4 m ³	1100.4 m ³
Acero de refuerzo con L.E. = 4000 kg/cm ²	71830 kg	73759 kg

CUERPO DE PILA		
Concreto f _c 250 kg/cm ²	872 m ³	1153 m ³
Acero de refuerzo con L.E. >= 4000 kg/cm ²	199764 kg	221121 kg
CABEZAL		
Concreto f _c 250 kg/cm ²	313 m ³	313 m ³
Acero de refuerzo con L.E. > 4000 kg/cm ²	45154 kg	45154 kg
Acero de prefuerzo (cables 12T13)	3600 kg	3600 kg
Ancajes pasivos para 12 torones de 13 mm.	16 pzas	16 pzas
Ancajes activos para 12 torones de 13 mm	16 pzas	16 pzas
PILON(2 columnas)		
Concreto f _c 350 kg/cm ²	545.2 m ³	545.2 m ³
Acero de refuerzo con L.E. >= 4000 kg/cm ²	80068 kg	80068 kg
Acero de prefuerzo (barras d'widag o similar de 32 mm)	3116 kg	3116 kg
Ancajes para barras d'widag	320 m.	320 m.
Escalera marinera	2 pzas	2 pzas
Puerta de registro en punta de piñón	2 pzas	2 pzas
Puerta para acceso a piñón de 0.8 m de diámetro de acero	2 pzas	2 pzas
ARRIOSTRA		
Concreto f _c 350 kg/cm ²	111.6 m ³	111.6 m ³
Acero de refuerzo con L.E. >= 4000 kg/cm ²	9000 kg	9000 kg
SUPERESTRUCTURA		
TABLERO		
Concreto f _c 400 kg/cm ² en.		
Dovela sobre pila	810 m ³	
Diaphragma colado en sitio	22 m ³	

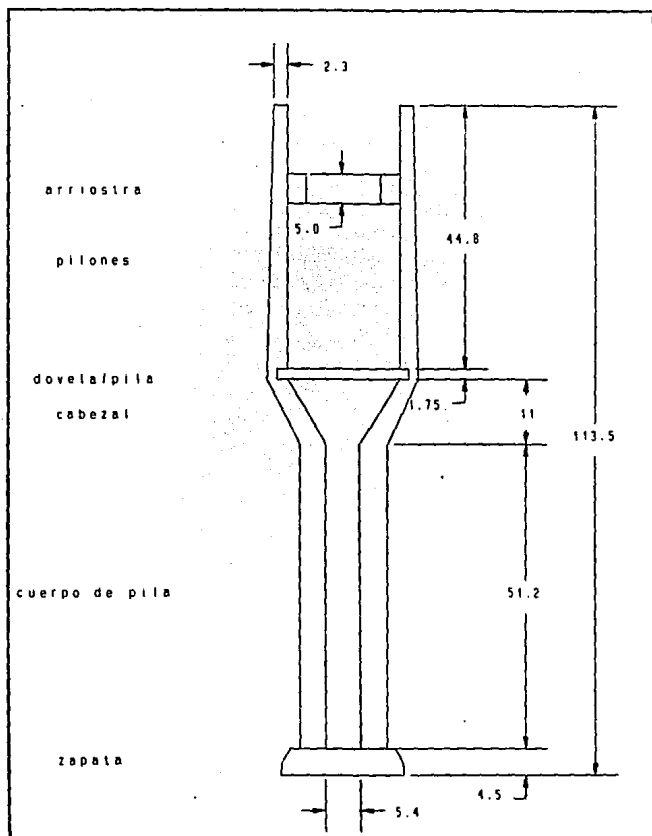
TABLERO		
Dovelas precoladas	1099 m3	
Losas de rodamiento precoladas	1200 m3	
Pieza de puente precolada	1008.6 m3	
Losas coladas en sitio para contrapeso en extremo del puente	132 m3	
Barra #4 de 32 mm. para las coladas en sitio	33400 kg	
Poliestireno expandido de 10 cm. de espesor en estribos	488 m2	
Concreto en conexiones coladas en sitio	1214 m3	
Acero de refuerzo con L.E. = 4000 kg/cm2	512875 kg	
Tubería de PVC de 4" de diámetro en drenes	99.4 m	
Concreto asfáltico en carpeta de 3 cm. de espesor	190.8 m3	
Acero de prefuerza		
Cables de 19 torones de 15 mm. de diámetro	57036 kg	
Cables de 12 torones de 15 mm. de diámetro	22234 kg	
Barra #4 de 32 mm. de diámetro	5000 kg	
Anclajes activos para 19 torones de 15 mm. de diámetro	64 pzas	
Anclajes pasivos para 19 torones de 15 mm. de diámetro	18 pzas	
Anclajes pasivos para 12 torones de 15 mm. de diámetro	220 pzas	
Anclajes activos para 12 torones de 15 mm. de diámetro	286 pzas	
Anclajes de continuidad de 19 torones de 15 mm.	180 pzas	
TIRANTES		
Acero de prefuerza en tirantes con torones de 15 mm. (monoprotelido)	251516 kg	
Anclaje activo para 19 torones de 15 mm. de diámetro	26 pzas	
Anclaje activo para 27 torones de 15 mm. de diámetro	29 pzas	
Anclaje activo para 31 torones de 15 mm. de diámetro	24 pzas	

TIRANTES		
Andaje activo para 37 torones de 15 mm. de diámetro	24 pcs	
Andaje pasivo para 19 torones de 15 mm. de diámetro	28 pcs	
Andaje pasivo para 27 torones de 15 mm. de diámetro	28 pcs	
Andaje pasivo para 31 torones de 15 mm. de diámetro	24 pcs	
Andaje pasivo para 37 torones de 15 mm. de diámetro	24 pcs	

3.3.2 Conceptos y costo de Obra

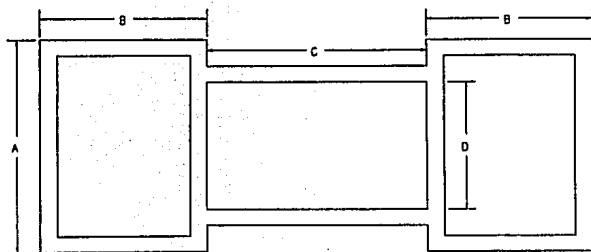
Concepto	Imparto(Mil pesos)	1990	1991	1992	1993
SUBESTRUCTURA					
Estribo No. 1					
Excavación	141847.8	115505.2	28142.8		
Zapata	530870.8	90781.2	431086.8		
Cuerpo	1036137.8		1036137.8		
Pila No. 2					
Excavación	283558.7		283558.7		
Zapata	2787484.8	718741.6	2063743.2		
Cuerpo	3230857.8		2381374.4	894483.2	
Cabezal	2045555.8			2045555.8	
Piezas y Arriostes	4244158.8			4244158.8	
Pila No. 3					
Excavación	298823.1		298823.1		
Zapata	2783929.8		2783829.8		
Cuerpo	4258054.3		4258054.3		
Cabezal	2045558.8			2045555.8	
Piezas y Arriostes	4261912.2			4261912.2	
Estribo No. 4					
Excavación	331347.1			331347.1	
Zapata	334313.8			334313.8	
Cuerpo	867038.9			867038.9	
Doveles en cuerpo de pila	10672676.4			10672676.4	

Estribo No. 4					
Equipo de montaje	14199430 3			14199430 2	
SUPERESTRUCTURA					
Fabricación de dovelas, pzas. de puente y losas	27813263 9			27813263 8	
Montaje de dovelas, pzas. de puente y losas	20659051 9				20659051 9
Guarniciones, parapetos y barrera central	6292609 4				6292609 4
TOTAL	117892775.1				



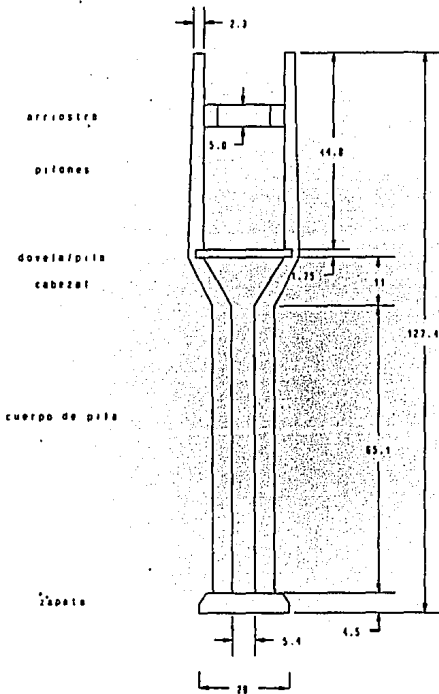
ILUSTRACION 9

PILA No 2 y No 3



PLANTA SECCION TIPO

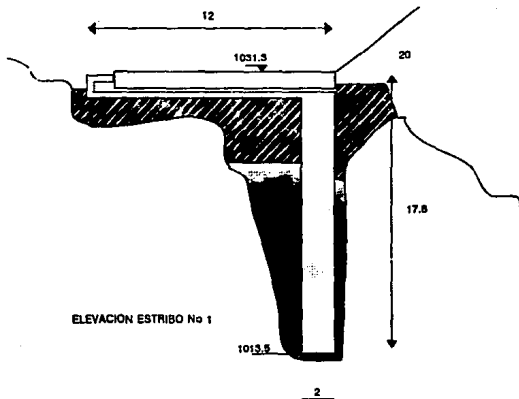
CUERPO DE PILA No 3






Ilustracion 11

ESTRIBOS 1 Y 4
(SUBESTRUCTURA)

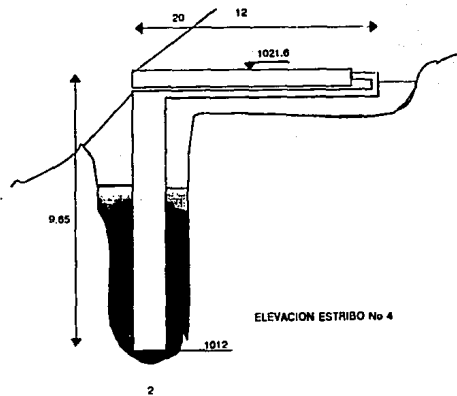
ELEVACION ESTRIBO No 1

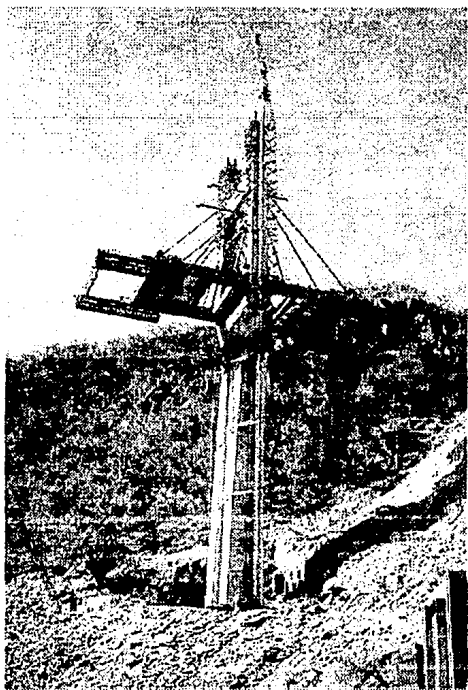


SIMBOLOGIA

-  relleno compactado
-  concreto ciclópico
-  concreto $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$

ELEVACION ESTRIBO No 4





LANZAMIENTO EN DOBLE VOLADIZO DE
SUPERESTRUCTURA EN PILA 3

CAPITULO 4

.... Sistema de Presfuerzo

4.1 Breve historia

Al inicio del presfuerzo se usan alambres de 7 mm. de diametro. Ello obligaba a tener que tensar un gran número de ellos para tener cierta potencia en el anclaje. También se tensaban los alambres unitariamente. Debido a los rozamientos internos y a las fricciones entre ellos, cuando mayor es el número de alambres más problemas presentaba. Cuando se tensaba el último alambre y se comprobaba el primero, se constataba la pérdida de tensión por las causas antes mencionadas. Para solucionar esto, se tensaba por etapas con el fin de igualar las tensiones de todos los alambres.

Como este procedimiento consumía tiempo, se empezó a pensar en jalar todos los cables a la vez. De esta idea nacieron el anclaje hembra-macho de Freyssenet y el anclaje de botones de B.B.R. al mismo tiempo se desarrolla la técnica con torones de 7 alambres.

De entre todos estos intentos nació el gato multitorón, que al principio fue multialambre. Con él se eliminarán los inconvenientes de los otros sistemas. Cuña macho, recorrido de la tuerca de anclaje de botones, etc.

En términos generales la forma en que se logra el postensado en los cables es la siguiente:

En los anclajes activos, situado el gato multitorón frente a la placa de distribución de esfuerzos se desplaza éste hacia la culata. La operación de enhebrado se realiza.

Con el gato en disposición de tensar se realiza el agarre de todos los torones con las cuñas de arrastre.

Se tensa el tendón hasta conseguir el esfuerzo y alargamiento deseado.

Se clavan definitivamente las cuñas del anclaje accionando la placa de distribución, que es también clavada mediante el cilindro hidráulico frontal.

Dando la presión al circuito de retorno, se recoge el gato, soltándose automáticamente las cuñas de arrastre, con lo que el gato puede retirarse.

En la Ilustración 13 se observa dicha secuencia de tensado.

4.2. Aplicación del sistema de presfuerzo (postensado) en la superestructura.

Debido a el procedimiento constructivo (en doble voladizo) de la superestructura formada por un tablero compuesto por elementos prefabricados (dovelas, pieza de puente y losas) se hizo necesario adoptar el sistema de presfuerzo postensado.

En la zona del puente donde se aplica presfuerzo mayoritariamente es en la superestructura a partir del cabezal, en el cuerpo de pila, en la dovela sobre pila, en los pilones, en el cableado entre los elementos que conforman el tablero y en los tirantes que forman el abanico de los que pende el Puente.

Por considerar repetitivos los procedimientos, sólo menciono algunas de las aplicaciones del presfuerzo en los elementos más importantes del Puente.

Cabezal.

Durante una de sus etapas de construcción se colocan entre el armado ductos que atraviezan transversalmente de lado a lado, en sus extremos dichos ductos llevan una culata ligada a una placa envevida al concreto, en ellos se alojan 12 cables de presfuerzo. Como se muestra en la ilustración 14 son 16 grupos de cables de 12 cada uno con 13 mm. señalados como anclajes pasivos y activos.

La secuencia de tensado es la siguiente:

Se tensan los cables C-1, C-4, C-13 y C-16 al terminar de construir el cabezal.

Se tensan los cables C-2, C-3, C-14 y C-15 cuando se termina de construir el pilón.

Se tensan los cables C-6, C-7, C-10 y C-11 cuando se termina de construir la mitad del pilón.

Se tensan los cables C-5, C-8, C-9 y C-12 en pila 3 cuando se coloquen las dovelas D-115 y D-120 del lado del claro 2-3 y las dovelas D-167 y D-168 del lado del claro 3-4.

Los materiales usados son los siguientes:

cables de presfuerzo	12T13	3622 kg
anclajes activos	12T13	8 piezas
anclajes pasivos	12T13	8 piezas

Pilones

En los pilones se anclan los tubos funda denominados pasivos que sujetan uno de los extremos del tirante. El tirante se protege en tubo de polietileno de alta densidad de 25 cms. de diámetro por 2 cms. de espesor. En el interior de cada tubo se inyecta una cera especial anticorrosiva para proteger el acero.

El tensado de los tirantes se realiza desde los anclajes activos colocados en las dovelas del tablero.

Por lo que respecta a las barras d'widag colocadas transversalmente y longitudinalmente (ilustración 15 y 15A) el tensado se hace una vez alcanzado el 70 % de la resistencia de proyecto del nivel inmediato superior.

Las barras d'widag perpendiculares a la dirección del tirante se tensan simultáneamente y en 1a. fase y las paralelas al tirante se tensan posteriormente en 2a fase.

Las barras de presfuerzo de 32 mm. se tensan con una fuerza inicial de 60 ton. y las barras de 36 mm. a 75 ton.

Dovelas.

Los cables utilizados en el presfuerzo longitudinal de las dovelas es de 19T15 con una fuerza de tensado al 80 % del esfuerzo de ruptura del cable. En los denominados anclajes activos se realiza el trabajo de tensado, es desde los cajetines luego de colocados los cables y las placas de distribución junto con las cunas donde se acerca el gato multitorón que produce los esfuerzos solicitados en proyecto.

Todas las cabezas de anclaje (activos y pasivos) se protegen mediante la aplicación de una pintura anticorrosiva a base de resinas epóxicas y luego se rellena el cajetín con mortero.

En las ilustraciones 16, 16A y 16B, se observa la elevación y la planta del presfuerzo en la mitad del tablero de la superestructura.

Es desde las dovelas señaladas con tirantes donde se realiza el tensado de los cables que varían en su composición desde 19T15 hasta 37T15.

Piezas de puente.

La secuencia de tensado (ilustración 16C) es la siguiente:

Cuando el colado de liga entre dovela y pieza de puente alcanzó el 70 % de su resistencia (280 kg/cm²) se tensa este cable No 1 al 55 % (295.9 ton.) de su tensión total (537.9 ton.) con una elongación de 7.9 cm.

El restante 45 % (242 ton.) se tensa después de colocar las losas y que el colado de liga entre ellas haya alcanzado el 70 % (280 kg/cm²) de su resistencia.

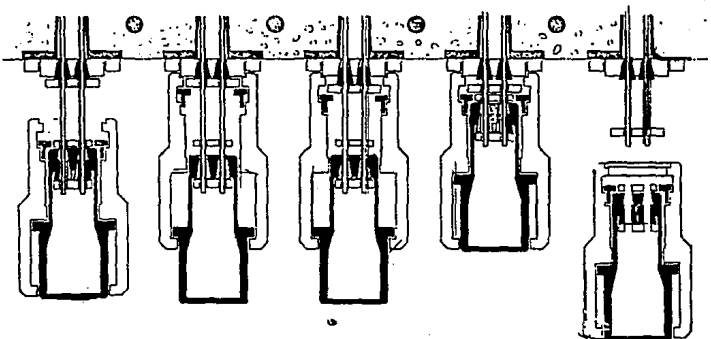
El cable No. 2 se tensa al 100 % (180 ton.) con una elongación de 13.8 cm. después de haber colocado las losas y que el colado de liga entre ellas haya alcanzado el 70 % de su resistencia total (400 kg/cm²).

Losas.

Las losas en que se aplica presfuerzo son las del tipo A y F, en los extremos del puente, muy cerca de los estribos, es decir las losas con presfuerzo longitudinal (ilustración 18D) son únicamente las de tipo A y F.

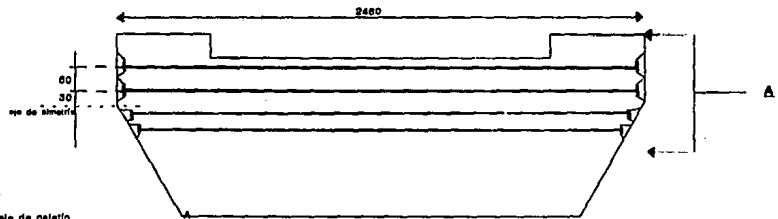
Todos los cables de presfuerzo colocados son 12T13 (12 torones de 13 mm.), y se les aplica una fuerza de tensado al 80 % de su esfuerzo de ruptura.

Los huecos de los cajetines se rellenan con mortero de empaque (lechada).

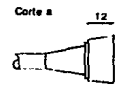
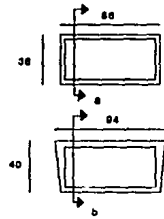
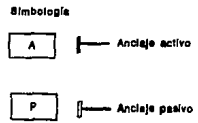
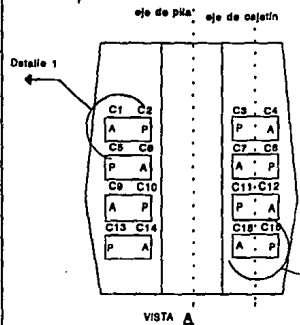


FASES DE TENSADO DEL GATO MULTITORON

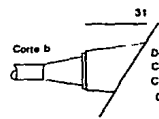
SISTEMA DE PREEFUERZO DE CABEZAL



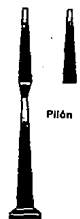
ELEVACION FRONTAL X
POSICION DE CABLES DE PREEFUERZO



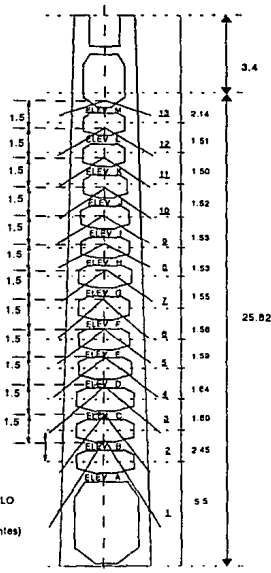
Detalle 1
Cajetín a usar en cables C-1 y C-2, C-3 y C-4, C-5 y C-6, C-7 y C-8



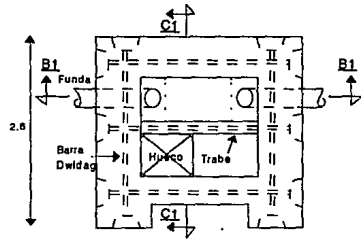
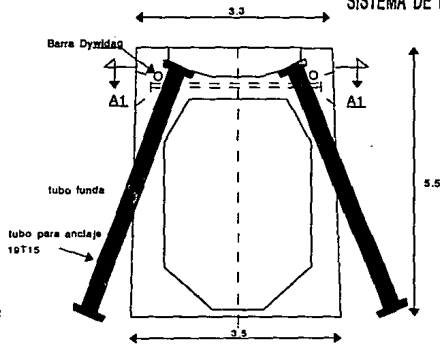
Detalle 2
Cajetín a usar en cables C-9 y C-10, C-11 y C-12, C-13 y C-14, C-15 y C-16



Pilón



SISTEMA DE PREESFUERZO EN PILON

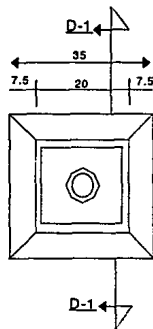
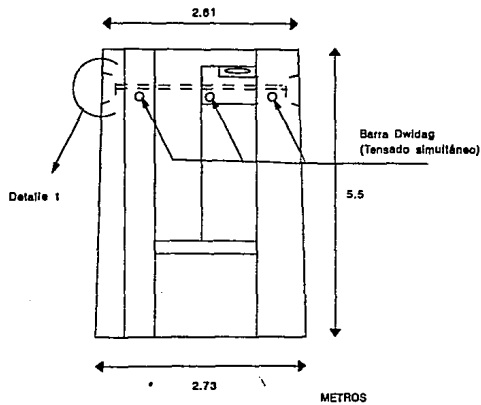


METROS

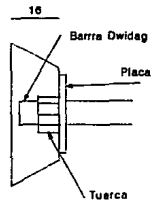
SISTEMA DE PREESFUERZO EN PILON



Pilón



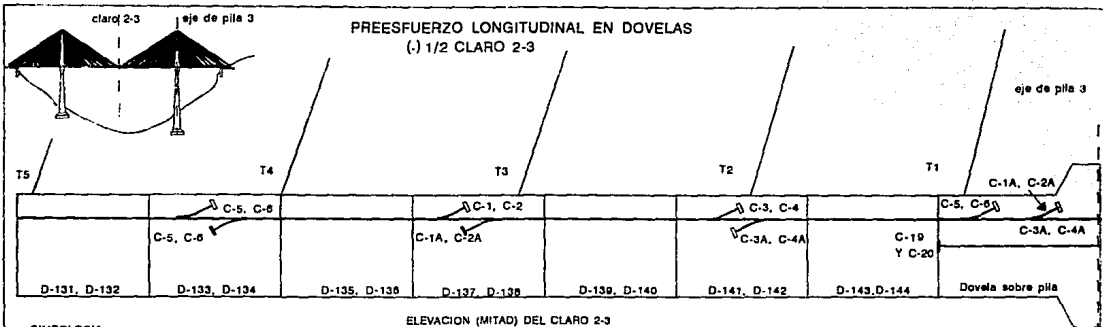
BARRA DWIDAG



CORTE D-1

CENTIMETROS

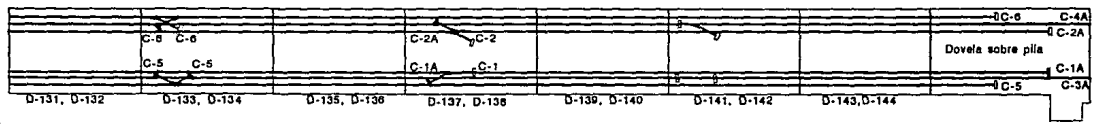
Detalle 1



ELEVACION (MITAD) DEL CLARO 2-3

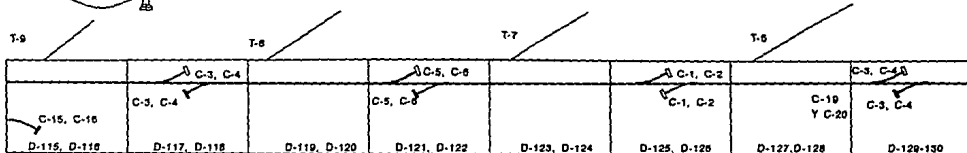
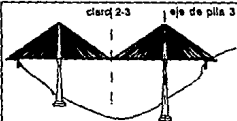
SIMBOLOGIA

- Anclaje Activo ————|
- Anclaje Pasivo ————|]



PLANTA (MITAD) DEL CLARO 2-3

PREESFUERZO LONGITUDINAL EN DOVELAS
(.) 1/2 CLARO 2-3

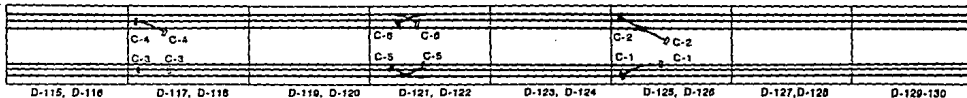


ELEVACION (MITAD) DEL CLARO 2-3

SIMBOLOGIA

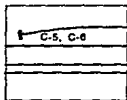
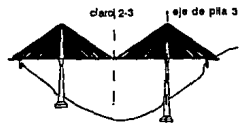
Anclaje Activo

Anclaje Pasivo



PLANTA (MITAD) DEL CLARO 2-3

PREESFUERZO LONGITUDINAL EN DOVELAS
 (...)1/2 CLARO 2-3



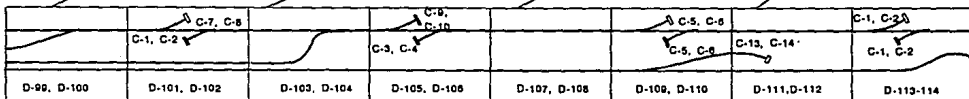
D-97, D-98

T-13

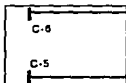
T-12

T-11

T-10



ELEVACION (MITAD) DEL CLARO 2-3

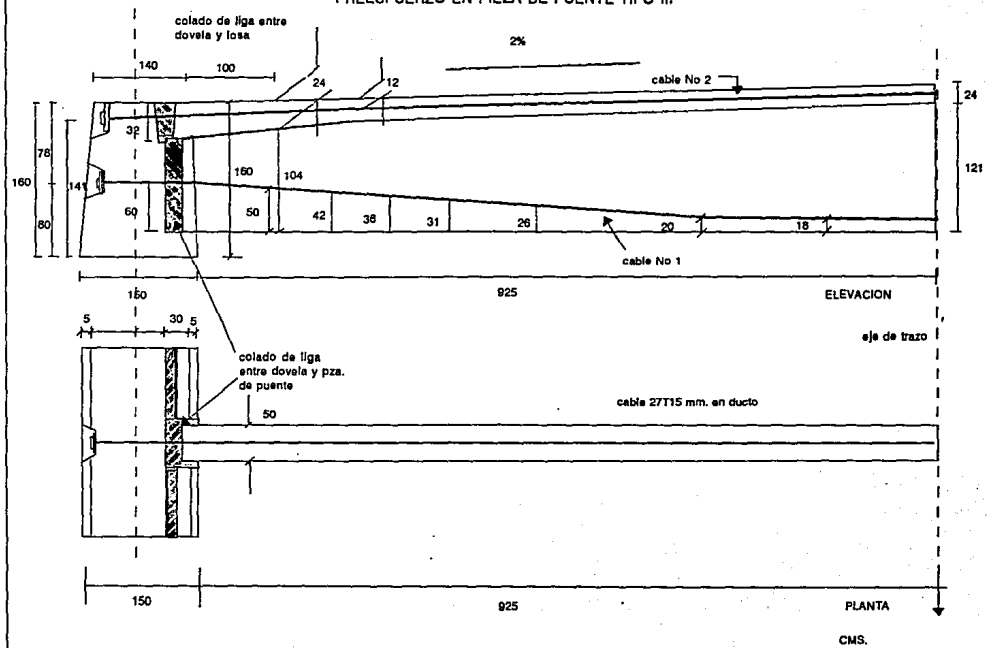


D-97, D-98

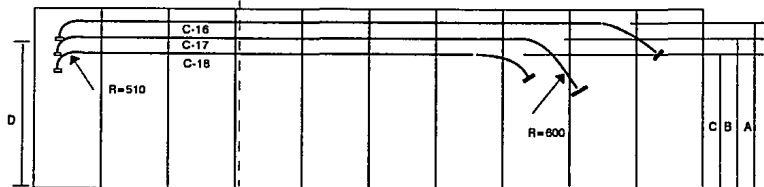


PLANTA (MITAD) DEL CLARO 2-3

PREESFUERZO EN PIEZA DE PUENTE TIPO III

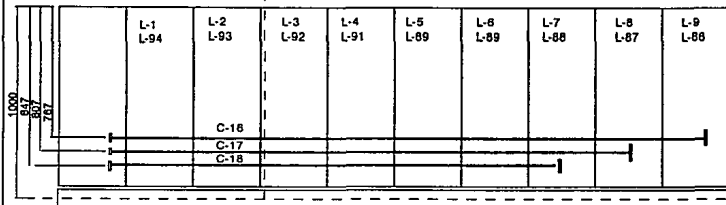


PREESFUERZO LONGITUDINAL EN LOSAS



ELEVACION

eje de estribo 1-4



eje de tirantes

DOVELAS 1-20 173-191

TABLA DE ACOTACIONES

CABLE	A	B	C	D
C-16	147	155	118	137
C-17	166	134	117	136
C-18	145	133	115	135

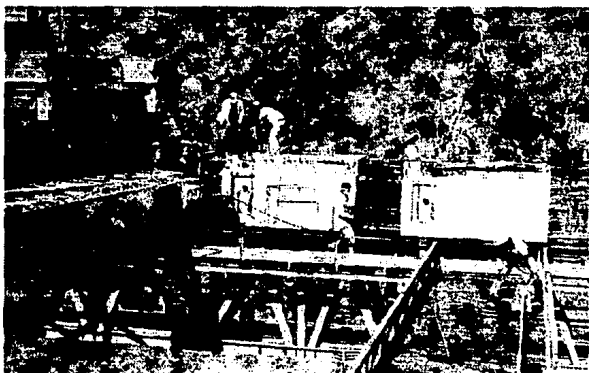
ANCLAJES

—|— ACTIVO

—|— PASIVO

PLANTA

CMS.



COLOCACION DE DOVELAS PREFABRICADAS SOBRE PASARELA

CAPITULO 5

Superestructura

5.1 Elementos constitutivos del tablero prefabricado (dovelas, piezas de puente, losas)

De acuerdo al proyecto el puente contempla en su superestructura la fabricación de un mecano aéreo formado por un total de 853 piezas de tres clases que a su vez se subdividen en 36 tipos; dichas piezas se fabricaron fuera de obra (San Juan Teotihuacán. Edo. de Mex.) y almacenadas en obra en espera de su colocación.

CLASE	PESO(ton)	CANTIDAD	TIPO
DOVELA vol. concreto 6.5 m3 vol. acero 1.7 ton	16	192	del I,II...XXV
PZA. PUENTE vol. concreto 10.4 m3 vol. acero 1.4 ton	25	97	I,II,III,IV,V
LOSA vol. concreto 2.6 ton vol. acero 0.64 ton	6	564	A,B,C,D,E,F
Total de piezas		853	

En la Ilustración 17 y 17A se observan dichos elementos.

5.2. Equipo de montaje

Para la formación de la superestructura se requirió un equipo auxiliar que auxiliara los ciclos de lanzado.

Este equipo es italiano, esta constituido por:

Grúa pórtico, la cual tiene un peso de 19 toneladas y cuenta con una capacidad de carga de 25 toneladas.

Grúa lanzadora, la cual pesa 48 toneladas y cuenta con una capacidad de carga de 25 toneladas.

Carro de transporte, el cual pesa 3.5 toneladas y su capacidad de carga es de 25 toneladas.

Pasarela, que pesa 35 toneladas y su capacidad de carga es de 100 toneladas.

5.3. Ciclos de lanzado

En el ciclo de lanzado descrito a continuación se realizan las siguientes actividades generales con las cuales se tiene un avance promedio diario de 1.5 mts.

Día 1 (ilustración 18)

A.- Izaje y colocación de dovela

B.- Inicio de armado, cimbrado y colado de liga

Día 2 (ilustración 18A)

A.- Terminación de armado, cimbrado y colado de liga

B.- Insertado de torones para tirantes, colocación de fundá y tensado al 35 %

C.- Inicio de izaje y colocación de pza. puente.

Día 3 (ilustración 18B)

A.- Terminación de colocación de pza. puente, colado de liga entre pzas. puente y dovelas.

B.- Colocación y tensado de cables transversales y postensado al 55 %.

C.- Inicio de izaje y colocación de losas precoladas.

Día 4

Terminación de colocación de losas precoladas y colado de liga entre losas, pzas. de puente y dovelas.

Inicio de tensado al 100 % de pzas. de puente y tensado longitudinal de dovelas.

Día 5

Terminación de tensado al 100 % de pzas. puente, tensado longitudinal de dovelas, tensado al 100 % de tirante.

Movimiento de equipo y pasarela de trabajo al inicio del siguiente ciclo.

Por tratarse de un procedimiento constructivo en doble voladizo y tomando en consideración la simetría de los elementos que constituyen la superestructura y la repetición de los ciclos se describe a continuación detalladamente hasta el tirante No 5 el ciclo de lanzado de la pila No 2, que es el mismo de pila 3:

Pila No 2

Tirante No 1

Se construye la dovela sobre pila y los pilones tal como se indica en los planos correspondientes a dichos elementos. Una vez colada la dovela sobre pila, se deben tensar los cables longitudinales de la misma, antes de proceder a descimbrar. Los cables que se deben tensar en esta etapa son C-19 y C-20 de la dovela sobre pila, además de los cables correspondientes al cabezal de la que deben estar tensados una vez concluido el pilón, que son las que se indican a continuación: C-1, C-2, C-3, C-4, C-6, C-7, C-10, C-11, C-13, C-14, C-15 y C-16.

Así también en esta etapa deben quedar construidas las piezas de puente coladas in situ que se ubican en los extremos de ambos voladizos, debiéndose tensar el cable No. 1 de la misma al 100 % de su fuerza de tensión inicial (404 Ton.), correspondiente a un 19T15.

Posteriormente se colocan sobre dovela de pila el pórtico de izaje, la grúa de montaje (jib) y el binario, tomando la precaución de que no se coloquen los equipos de montaje para cada voladizo a un solo lado del pilón ya que se pondría en riesgo la dovela sobre pila en la zona sobre la que se llegara a realizar.

Una vez colocado el equipo de montaje correspondiente a cada voladizo, se instala los tirantes No.1 de cada pilón de la pila No. 2. Cuando se instalan los tirantes se lleva a cabo el tensado de los cuatro al mismo tiempo aplicando las fuerzas de tensión inicial que se indica a continuación:

Tirante	Fuerza de Tensado (ton.)	Deformación (cm.)
T201ai	130.4	-0.8
T201ad	130.4	-0.8
T201ti	130.4	-0.8
T201td	130.4	-0.8

En las ilustraciones 19, 19A y 19B se observa la planta del tablero y las piezas designadas que conforman el primer ciclo.

Pila No 2

Tirante No 2

Se sujeta la plataforma de trabajo y la grúa de montaje (jib y binario) sobre los voladizos de la dovela sobre pila por medio de barras dywidag, esto se hace en ambos lados de la pila tanto para el avance hacia estribo No. 1, como para avanzar hacia estribo No. 4.

Usando la grúa de montaje se colocan los moldes para la fabricación de los colados de liga entre las dovelas propias de este ciclo de montaje y además se posicionan los gatos que se utilizan para la nivelación de las dovelas precoladas.

Usando la grúa de montaje se colocan las dovelas D-47, D-48 y D-45, D-46 del avance hacia el estribo No 1 y las dovelas D-49, D-50 y D-51 y D-52 de avance hacia estribo No. 4. Se hace el alineamiento y nivelación de las dovelas teniendo como base las construidas en el ciclo anterior, es decir que el perfil y la planta de dicho ciclo son la referencia para construir este nuevo ciclo de montaje.

Se efectúa el colado de liga entre dovelas de ambos voladizos o sea cuatro colados en sitio simultáneos en cada extremidad de avance de construcción del tablero.

Cuando el concreto del colado de liga alcance una resistencia del 50% de la del proyecto ($f_c=400$

kg/cm²) se inicia la instalación de los tirantes de este ciclo.

Cuando el concreto de los colados de faja alcance el 70 % de la resistencia de proyecto, se efectuara la tensión de tirantes como se indica a continuación:

Tirante	Fuerza de Tensado (ton)
T202a1	24.2
T202ad	24.2
T202ti	24.2
T202td	24.2

Esta tensión se aplica simultáneamente en los cuatro tirantes y para lograrla individualmente en cada tirante deberán tensarse todos los torones que lo forman.

No es necesario el control de deformaciones en el tablero en esta etapa, únicamente deberá controlarse la fuerza.

Se aflojan los gatos de apoyo usados para nivelar dovelas, buscando que cada uno de ellos reduzca su carga al 50% de la que originalmente soportaba.

Se retensan los tirantes indicados en el paso 6 hasta alcanzar la tensión siguiente:

El montaje de las losas se hace en el siguiente orden:

- 1o. Se montan losas tipo A y F.
- 2o. Se montan losas tipo B y E
- 3o. Se montan losas tipo C
- 4o. Por último se montan losas tipo D.

Se efectúa el colado de liga entre losas precoladas, entre losas y piezas de puente y entre losas y dovela correspondientes.

Cuando el concreto de los colados de liga del paso anterior alcance un 70% de la resistencia de proyecto ($f_c = 400 \text{ kg/cm}^2$), se retensan los cables o tensan los cables de presfuerzo de piezas de puente que se indican:

Pieza de puente	Cable tipo	Fuerza de tensión (ton)
P-24	27T15 III	574(cable No 1)
	12T13	180(cable No 2)
P-25	27T15 III	574(cable No 1)
	12T13	180(cable No 2)

Para las piezas de puente antes mencionadas la tensión es final.

Se tensan los cables de presfuerzo cíclico (cables longitudinales) C-3A, C-4A, los cuales son dos en cada línea de dovelas, es decir cuatro cables en cada voladizo. El tensado se realiza simultáneamente en ambos cables de una misma dovela, sin importar que no exista simetría a ambos lados del eje de puente.

De lo anterior se deduce que se requieren dos gatos en cada voladizo durante esta etapa, ya que en primera instancia se tensan los cables de una línea de dovelas para posteriormente tensar los de la línea de dovelas paralela.

Estos cables cíclicos se tensan por un solo lado y con una fuerza de tensado inicial de 404 toneladas correspondiente al 80% del esfuerzo de ruptura, esto por cada cable de 19T15.

Se retensan los tirantes indicados en el paso No 6 hasta alcanzar el 100% de la tensión inicial

especificada en el proyecto

En el cuadro anexo se indican la fuerza de tensión inicial que se aplica a cada tirante de este ciclo y las deformaciones esperadas en los puntos de control de los mismos, siendo el desplazamiento con respecto a la rasante teórica de proyecto.

Tirante	Tensión Inicial (ton)	Deformación (cm)
T202ai	148.1	-0.6
T202ad	148.1	-0.6
T202ti	135.9	-0.7
T202td	135.9	-0.7

Se tensan los cables de presfuerzo No. 2 y No. 3 de la pieza de puente colada en sitio de la dovela sobre pila en ambos volados al 100 % del valor de la tensión inicial.

Cable	Fuerza de tensión inicial (ton)
12T15	255(cable No 2)
19T15	319(cable No 3)

Cuando se realizan las mediciones para el control geométrico del puente después de haberlo tensado al 100 % de su fuerza de tensión inicial los tirantes, el equipo de montaje se ubica al centro del tablero (sobre el eje del puente) y con el brazo paralelo a dicho eje y hacia el frente de avance. Así también todo el equipo adicional como lo es el carro de transporte de precolados, rollos de cable de presfuerzo, personal de construcción no necesario para esta fase, etc. se colocan fuera del puente o sobre el cabezal de la pila.

PILA No. 2

TIRANTE No.3

Se desplaza la plataforma de trabajo y grúa de montaje (jib y binario) en ambos voladizos y se sujetan por medio barras dywidag al colado de liga ya construido entre dovelas D-45 y D-47, D-46 y D-48, D-47 y D-48 y D-48 y D-49 y D-49 y D-50 para avance hacia estribo No. 1, y dovelas D-49 y D-51, D-50 y D-52, D-51 y D-52 y D-52 y D-53 para avance hacia estribo No. 4.

Usando la grúa de montaje se colocan los moldes para la fabricación de los colados de liga entre las dovelas propias de este ciclo de montaje y además se posicionan los gatos que se utilizarán para la nivelación de las dovelas precoladas.

Usando la grúa de montaje se colocan las dovelas D-43, D-44 y D-41, D-42 del avance hacia el estribo No 1 y las dovelas D-53, D-54 Y D-55, D-56 de avance hacia estribo No. 4. Se hace el alineamiento y nivelación de las dovelas teniendo como base las construidas en el ciclo anterior, es decir que el perfil y la planta de dicho ciclo serán la referencia para construir éste nuevo ciclo de montaje.

Se efectúa el colado de liga entre dovelas de ambos voladizos o sea cuatro colados en sitio simultáneos en cada extremidad de avance de construcción del tablero.

Cuando el concreto del colado de liga alcanza una resistencia del 50 % de la de proyecto ($f_c = 400$ kg/cm²) se inicia la instalación de los tirantes de este ciclo.

Cuando el concreto de los colados de liga alcanza el 70 % de la resistencia de proyecto, se efectúa la tensión de tirantes como se indica a continuación:

Tirante	Fuerza de tensado (ton)
T203al	27.3
T203ad	27.3
T203ti	27.8
T203td	27.8

Esta tensión se aplica simultáneamente en los cuatro tirantes y para lograrla individualmente en cada tirante se tensan todos los torones que lo forman. No es necesario el control de deformaciones en el tablero en esta etapa, únicamente se controla la fuerza.

Se procede a aflojar los gatos de apoyo usados para nivelar dovelas, buscando que cada uno de ellos reduzca su carga al 50 % de la que originalmente soportaba.

Se retensan los tirantes indicados en el paso 5 hasta alcanzar la tensión siguiente:

Tirante	Fuerza de tensado (ton)	Deformación (cm)
T203ti	58.3	-0.7
T203td	58.3	-0.7
T203ai	57.3	-0.6
T203ed	57.3	-0.6

No es necesario el control de deformaciones en el tablero en esta etapa, únicamente se controla la fuerza aplicada.

Se aflojan totalmente los gatos de apoyo bajo dovelas se libera a la plataforma de trabajo del peso del tablero.

Usando la grúa de montaje se colocan en su posición las piezas de puente Nos. P-22 y P-21, las cuales son del tipo II y I, respectivamente, en el sentido de avance hacia el estribo No 1 y las piezas de puente Nos. P-27 y P-28, las cuales son del tipo II y I, respectivamente en el sentido de avance hacia el estribo No 4.

Se efectúa el colado de liga de estas piezas de puente con las dovelas previamente instaladas.

Cuando el concreto del colado de liga alcanza un 70% de la resistencia de proyecto ($f_c = 400 \text{ kg/cm}^2$) se tensan los cables de presfuerzo de piezas de puente que se indican:

Pieza de puente	Cable tipo	Fuerza de tensión (ton)
P-22	27T15 II	316
P-21	27T15 I	316
P-27	27T15 II	316
P-28	27T15 I	416

Para las piezas antes mencionadas la tensión es parcial.

Las piezas de puente Nos P-21 y P-28 son tensadas por el lado izquierdo vistas en el sentido de avance y las piezas de puente No. P-22 y P-27 son tensadas por el lado derecho vistas en el sentido de avance.

Usando la grúa de montaje se colocan las losas precoladas del primer y segundo tramo, siendo las del primer tramo las denominadas L22A, L22B, L22C, L22D, L22E, y L22F, ubicadas entre las piezas de puente P-22 y P-23, para el segundo tramo las losas se denominan L21A, L21B, L21C, L21D, L21E y L21F, que se ubican entre las piezas de puente P-21 y P-22, todo lo anterior para el avance hacia el estribo No. 1. Para el avance hacia el estribo No.4 el primer tramo de losas a colocar son las denominadas L25A, L25B, L25C, L25D, L25E y L25F, ubicadas entre las piezas de puente P-26 y P-27, para el segundo tramo se colocan las losas L26A, L26B, L26C, L26D, L26E y L26F, ubicadas entre las piezas de puente P-27 y P-28.

El montaje de las losas se hace en el siguiente orden:

- 1o. Se montan losas tipo A y F.
- 2o. Se montan losas tipo B y E
- 3o. Se montan losas tipo C
- 4o. Por último se montan losas tipo D.

Se efectúa el colado de liga entre losas precoladas, entre losas y piezas de puente y entre losas y dovelas correspondientes.

Cuando el concreto de los colados de liga del paso anterior alcanza un 70% de la resistencia de proyecto ($f'c = 400 \text{ kg/cm}^2$), se retensan los cables o tensan los cables de presfuerzo de piezas de puente que se indican:

Pieza de puente	Cable tipo	Fuerza de tensión (ton)
P-22	27T15 II	574
P-23	27T15 I	574
	27T15 II	574
P-26	27T15 I	574

Para las piezas de puente antes mencionadas la tensión es final.

Se tensan los cables de presfuerzo cíclico (cables longitudinales) C-1A, C-2A, los cuales son dos en cada línea de dovelas es decir cuatro cables en cada voladizo. El tensado se realiza simultáneamente en ambos cables de una misma dovela, sin importar que no exista simetría a ambos lados del eje de puente.

De lo anterior se deduce que se requieren dos gatos en cada voladizo durante esta etapa, ya que en primera instancia se tensan los cables de una línea de dovelas para posteriormente tensar los de la línea de dovelas paralela.

Estos cables cíclicos se tensan por un solo lado y con una fuerza de tensado inicial de 404 toneladas correspondiente al 80% del esfuerzo de ruptura, esto por cada cable de 19T15.

Se retensan los tirantes indicados en el paso No 6 hasta alcanzar el 100 % de la tensión inicial especificada en el proyecto. En el cuadro anexo se indican la fuerza de tensión inicial que se debe aplicar

a cada tirante de este ciclo y las deformaciones esperadas en los puntos de control de los mismos, siendo el desplazamiento con respecto a la rasante teórica de proyecto.

Tirante	Tensión Inicial (ton)	Deformación (cm)
T203al	166	1.0
T203ad	166	1.0
T203ti	147.2	0.1
T203td	147.2	0.1

Cuando se realicen las mediciones para el control geométricas del puente despues de tensar al 100% de su fuerza de tensión inicial los tirantes, el equipo de montaje se ubica al centro del tablero (sobre el eje de puente) y con el brazo paralelo a dicho eje y hacia el frente de avance. Así también todo el equipo adicional como lo es el carro de transporte de precolados, rollos de cable de presfuerzo, personal de construcción no necesario para esta fase, etc., se ubica fuera del puente o sobre el cabezal de la pila.

Con en esta etapa concluye el ciclo.

PILA No. 2

TIRANTE No. 4

Se desplaza la plataforma de trabajo y grúa de montaje (jib y binario) en ambos voladizos y se sujetan por medio de barras dywidag al colado de liga ya construido entre dovelas D-41 y D-43, D-42 y D-44, D-43 y D-45, D-44 y D-46 para el avance hacia el estribo No.1 y entre dovelas D-51 y D-53, D-52

y D-54, D-53 y D-55, D-54 y D-56 para el avance hacia el estribo No. 4.

Usando la grúa de montaje se colocan los moldes para la fabricación de los colados de liga entre las dovelas propias de este ciclo de montaje y además se posicionan los gatos que se utilizan para la nivelación de las dovelas precoladas.

Usando la grúa de montaje se colocan las dovelas D-39, D-40 Y D-37, D-38 del avance hacia el estribo No 1 y las dovelas D-57, D-58 Y D-59, D-60 del avance hacia el estribo No. 4. Se hace el alineamiento y nivelación de las dovelas teniendo como base las construidas en el ciclo anterior, es decir que el perfil y la planta de dicho ciclo son la referencia para construir éste nuevo ciclo de montaje.

Se efectúa el colado de liga entre dovelas de ambos voladizos o sea cuatro colados en sitio simultáneos en cada extremidad de avance de construcción del tablero.

Cuando el concreto del colado de liga alcance una resistencia del 50% de la de proyecto ($f_c = 400$ kg/cm²) se inicia la instalación de los tirantes de este ciclo.

Cuando el concreto de los colados de liga alcance el 70 % de la resistencia de proyecto, se efectúa la tensión de tirantes como se indica a continuación:

Tirante	Fuerza de tensado (ton)
T204ai	30.7
T204ad	30.7
T204ti	31.6
T204td	31.6

Esta tensión se aplica simultáneamente en los cuatro tirantes y para lograrla individualmente en cada tirante se tensan todos los torones que lo forman. No es necesario el control de deformaciones en el tablero en esta etapa, únicamente se controla la fuerza.

Se procede a aflojar los gatos de apoyo usados para nivelar dovelas, buscando que cada uno de

ellos reduzca su carga al 50 % de la que originalmente soportaba

Se retensan los tirantes indicados en el paso 6 hasta alcanzar la tensión siguiente:

Tirante	Fuerza de tensado(Ton)	Deformación (cm)
T204ti	66.1	-0.4
T204td	66.1	-0.4
T204ai	64.3	0.9
T204ad	64.3	0.9

No es necesario el control de deformaciones en el tablero en esta etapa, únicamente se controla la fuerza aplicada.

Se aflojan totalmente los gatos de apoyo bajo dovelas y se libera a la plataforma de trabajo del peso del tablero.

Usando la grúa de montaje se colocan en su posición las piezas de puente Nos. P-20 y P-19, las cuales son del tipo IV y I, respectivamente, en el sentido de avance hacia el estribo 1 y las piezas de puente Nos. P-29 y P-30, las cuales son del tipo IV y I, respectivamente en el sentido de avance hacia el estribo No 4.

Se efectúa el colado de liga de estas piezas de puente con las dovelas previamente instaladas.

Cuando el concreto del colado de liga alcance un 70% de la resistencia de proyecto ($f_c = 400$ kg/cm²) se tensan los cables de presfuerzo de piezas de puente que se indican:

Pieza de puente	Cable tipo	Fuerza de Tensión (ton)
P-20	12T15 IV	255(cable No2)
P-19	27T15 I	316
P.29	12T15 IV	255(cable No2)
P-30	27T15 I	316

Para las piezas antes mencionadas la tensión es parcial.

Las piezas de puente Nos P-19 y P-30 se tensan por el lado izquierdo vistas en el sentido de avance y las piezas de puente No. P-20 y P-29 se tensan por el lado derecho vistas en el sentido de avance.

Usando la grúa de montaje se colocan las losas precoladas del primer y segundo tramo, siendo las del primer tramo las denominadas L20A, L20B, L20C, L20D, L20E y L20F, ubicadas entre las piezas de puente P-20 y P-21, para el segundo tramo las losas se denominan L19A, L19B, L19C, L19D, L19E y L19F que se ubican entre las piezas de puente P-19 y P-20, todo lo anterior para el avance hacia el estribo No. 1. Para el avance hacia el estribo No. 4 el primer tramo de losas que se colocan son las denominadas L27A, L27B, L27C, L27D, L27E y L27F, ubicadas entre las piezas de puente P-28 y P-29, para el segundo tramo se colocan las losas L28A, L28B, L28C, L28D, L28E y L28F, ubicadas entre las piezas de puente P-29 y P-30.

El montaje de las losas se hace en el siguiente orden:

- 1o. Se montan losas tipo A y F.
- 2o. Se montan losas tipo B y E.
- 3o. Se montan losas tipo C.
- 4o. Por último se montan losas tipo D.

Se efectúa el colado de liga entre losas precoladas, entre losas y piezas de puente y entre losas y dovelas correspondientes.

Cuando el concreto de los colados de liga del paso anterior alcance un 70% de la resistencia de proyecto ($f_c = 400 \text{ kg/cm}^2$), se retensan los cables o tensan los cables de presfuerzo de piezas de puente que se indican:

Pieza de puente	Cable tipo	Fuerza de tensión (ton)
P-20	12T15 IV	255
	12T13	180
	27T15 I	574
P-21	12T15 IV	255
	12T13	180
	27T15 I	574

Para las piezas de puente antes mencionadas la tensión es final.

Se tensan los cables de presfuerzo cíclico (cables longitudinales) C-5 y C-6, los cuales son dos en cada línea de dovelas es decir cuatro cables en cada voladizo. El tensado se realiza simultáneamente en ambos cables de una misma dovela, sin importar que no exista simetría a ambos lados del eje de puente.

De lo anterior se deduce que se requieren dos gatos en cada voladizo durante esta etapa, ya que en primera instancia se tensan los cables de una línea de dovelas para posteriormente tensar los de la línea de dovelas paralela.

Estos cables cíclicos se tensan por un solo lado y con una fuerza de tensado inicial de 404

toneladas correspondiente al 80% del esfuerzo de ruptura, esto por cada cable de 19T15.

Se retensan los tirantes indicados en el paso No 6 hasta alcanzar el 100% de la tensión inicial especificada en el proyecto. En el cuadro anexo se indica la fuerza de tensión inicial que se aplica a cada tirante de este ciclo y las deformaciones esperadas en los puntos de control de los mismos, siendo el desplazamiento con respecto a la rasante teórica de proyecto.

Tirante	Tensión Inicial (ton)	Deformación (cm)
T204ai	182.9	3.1
T204ad	182.9	3.1
T204ti	161.5	0.5
T204td	161.5	0.5

Cuando se realicen las mediciones para el control geométrico del puente después de tensar al 100% de su fuerza de tensión inicial los tirantes, el equipo de montaje se coloca al centro del tablero (sobre el eje de puente y con el brazo paralelo a dicho eje y hacia el frente de avance. Así también todo el equipo adicional como lo es el carro de transporte de precolados, rollos de cable de presfuerzo, personal de construcción no necesario para esta fase, etc., se ubican fuera de el puente o sobre el cabezal de la pila.

Con en esta etapa concluye el ciclo.

PILA No. 2

TIRANTE No. 5

Se desplaza la plataforma de trabajo y grúa de montaje (lib y binario) en ambos voladizos y se sujetan por medio de barras dywidag al colado de liga ya construido entre dovelas D-37 y D-39, D-38 y

D-40, D-39 y D-41, D-40 y D-42 para el avance hacia el estribo No.1 y entre dovelas D-55 y D-57, D-56 y D-58, D-57 y D-59, D-58 y D-60 para el avance hacia el estribo No. 4.

Usando la grúa de montaje se colocan los moldes para la fabricación de los colados de liga entre las dovelas propias de este ciclo de montaje y además se posicionan los gatos que se utilizan para la nivelación de las dovelas precoladas.

Usando la grúa de montaje se colocan las dovelas D-35, D-36 Y D-33, D-34 del avance hacia el estribo No 1 y las dovelas D-61, D-62 Y D-63, D-64 del avance hacia el estribo No. 4. Se hace el alineamiento y nivelación de las dovelas teniendo como base las construidas en el ciclo anterior, es decir que el perfil y la planta de dicho ciclo son la referencia para construir este nuevo ciclo de montaje.

Se efectúa el colado de liga entre dovelas de ambos voladizos o sea cuatro colados en sitio simultáneos en cada extremidad de avance de construcción del tablero.

Cuando el concreto del colado de liga alcanza una resistencia del 50% de la de proyecto ($f_c = 400$ kg/cm²) se inicia la instalación de los tirantes de este ciclo.

Cuando el concreto de los colados de liga alcanza el 70 % de la resistencia de proyecto, se efectúa la tensión de tirantes como se indica a continuación:

Tirante	Fuerza de tensado (ton)
T205ai	33.9
T205ad	33.9
T205ti	33.9
T205td	33.9

Esta tensión se aplica simultáneamente en los cuatro tirantes y para lograrla individualmente en cada tirante se tensan todos los torones que lo forman.

No es necesario el control de deformaciones en el tablero en esta etapa, únicamente se controla la fuerza.

Se procede a aflojar los gatos de apoyo usados para nivelar dovelas, buscando que cada uno de ellos reduzca su carga al 50% de la que originalmente soportaba.

Se retensan los tirantes indicados en el paso 6 hasta alcanzar la tensión siguiente:

Tirante	Fuerza de tensado (ton)	Deformación (cm)
T205ti	73.9	-0.3
T205td	73.9	-0.3
T205ai	71.1	3.3
T205ad	71.1	3.3

No es necesario el control de deformaciones en el tablero en esta etapa, únicamente se controla la fuerza aplicada.

Se aflojan totalmente los gatos de apoyo bajo dovelas y se libera a la plataforma de trabajo del peso del tablero.

Usando la grúa de montaje se coloca en su posición las piezas de puente Nos. P-16 y P-17, las cuales son del tipo IV y I, respectivamente, en el sentido de avance hacia el estribo No.1 y las piezas de puente Nos. P-31 y P-32, las cuales son del tipo IV y I, respectivamente en el sentido de avance hacia el estribo No 4.

Se efectúa el colado de liga de estas piezas de puente con las dovelas previamente instaladas.

Cuando el concreto del colado de liga alcance un 70% de la resistencia de proyecto ($f_c = 400 \text{ kg/cm}^2$) se tensan los cables de presfuerzo de piezas de puente que se indican:

Pieza de puente	Cable tipo	Fuerza de tensión (ton)
P-18	12T15	255
P-17	27T15	316
P-31	12T15	255
P-32	27T15	316

Para las piezas antes mencionadas la tensión es parcial.

Las piezas de puente Nos P-17 y P-32 se tensan por el lado izquierdo vistas en el sentido de avance y las piezas de puente No. P-18 y P-31 son tensadas por el lado derecho vistas en el sentido de avance.

Usando la grúa de montaje se colocan las losas precoladas del primer y segundo tramo, siendo las del primer tramo las denominadas L18A, L18B, L18C, L18D, L18E y L18F, ubicadas entre las piezas de puente P-17 y P-18, para el segundo tramo las losas se denominan L17A, L17B, L17C, L17D, L17E y L17F que se ubican entre las piezas de puente P-16 y P-17, todo lo anterior para el avance hacia el estribo No.1 Para el avance hacia el estribo No.4 el primer tramo de losas a colocar son las denominadas L29A, L29B, L29C, L29D, L29E y L29F, ubicadas entre las piezas de puente P-30 y P-31, para el segundo tramo se colocan las losas L30A, L30B, L30C, L30D, L30E y L30F, ubicadas entre las piezas de puente P-31 y P-32.

El montaje de las losas se hará en el siguiente orden:

- 1o. Se montan losas tipo A y F.
- 2o. Se montan losas tipo B y E.
- 3o. Se montan losas tipo C.
- 4o. Por último se montan losas tipo D.

Se efectúa el colado de liga entre losas precoladas, entre losas y piezas de puente y entre losas

y dovelas correspondientes.

Cuando el concreto de los colados de liga del paso anterior alcance un 70% de la resistencia de proyecto ($f_c=400 \text{ kg/cm}^2$), se retensan los cables o tensan los cables de presfuerzo de piezas de puente que se indican:

Pieza de puente	Cable tipo	Fuerza de tensión (ton)
P-18	12T15 IV	255
	12T13	180
P-19	27T15 I	574
P-31	12T15 IV	255
	12T13	180
P-31	27T15 I	574

Para las piezas de puente antes mencionadas la tensión es final.

Se tensan los cables de presfuerzo cíclico (cables longitudinales) C-3 y C-4, los cuales son dos en cada línea de dovelas, es decir cuatro cables en cada voladizo. El tensado se realiza simultáneamente en ambos cables de una misma dovela, sin importar que no exista simetría a ambos lados del eje de puente.

De lo anterior se deduce que se requieren dos gatos en cada voladizo durante esta etapa, ya que en primera instancia se tensan los cables de una línea de dovelas para posteriormente tensar los de la línea de dovelas paralela.

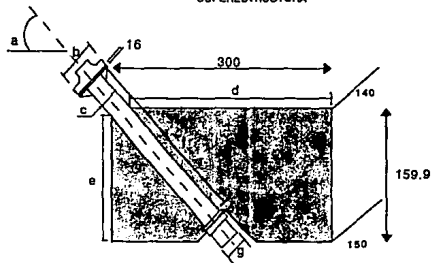
Estos cables cíclicos se tensan por un solo lado y con una fuerza de tensado inicial de 404 toneladas correspondiente al 80% del esfuerzo de ruptura, esto por cada cable de 19T15.

Se retensan los tirantes indicados en el paso No 6 hasta alcanzar el 100% de la tensión inicial especificada en el proyecto. En el cuadro anexo se indican la fuerza de tensión inicial que se aplica a cada tirante de este ciclo y las deformaciones esperadas en los puntos de control de los mismos, incluyendo el mismo donde se esta aplicando esta fuerza.

Tirante	Tensión inicial (ton)	Deformación (cm)
T205al	198.7	5.7
T205ad	198.7	5.7
T205ti	180.7	0.5
T205td	180.7	0.5

Cuando se realicen las mediciones para el control geométrico del puente después de tensar al 100% de su fuerza de tensión inicial los tirantes, el equipo de montaje se coloca al centro del tablero (sobre el eje de puente) y con el brazo paralelo a dicho eje y hacia el frente de avance. Así también todo el equipo adicional como lo es el carro de transporte de precolados, rollos de cable de presfuerzo, personal de construcción no necesario para esta fase, etc., se ubican fuera del puente o sobre el cabezal de la pila. Con en esta etapa concluye el ciclo.

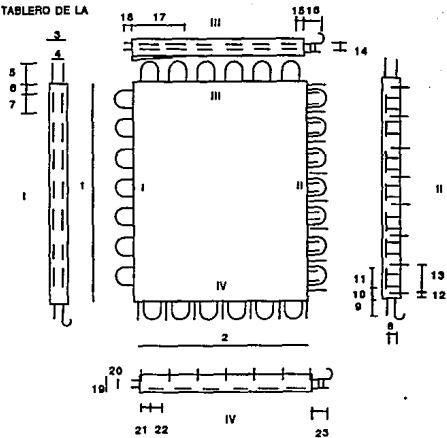
GEOMETRIA DE ALGUNOS ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DEL TABLERO DE LA SUPERESTRUCTURA



Tubo	Dovela	Anclaje	g	b	c	a	d	f	e
201T	D/P	19-06°	40	57.3	27.3	75.7	234.5	177.3	159.9
204A	59-80	28-06°	45	68.4	32.4	41.69	270.9	270	136.3
205A	63-84	28-06°	45	68.4	32.4	38.8	288.8	300.3	127.4
205T	33-34	28-06°	45	68.4	32.4	37.89	288.04	293.4	129.2
207T	25-26	28-06°	45	68.4	32.4	30.63	300	349.5	117.7
210T	13-16	37-06°	50	77.6	35.6	25.0	300	402.8	106.6
211T	9-10	37-06°	50	77.6	35.6	23.73	300	423.6	104.5
213T	1-2	37-06°	50	77.6	35.6	21.6	300	461.9	101.2

DOVELAS

CMS.



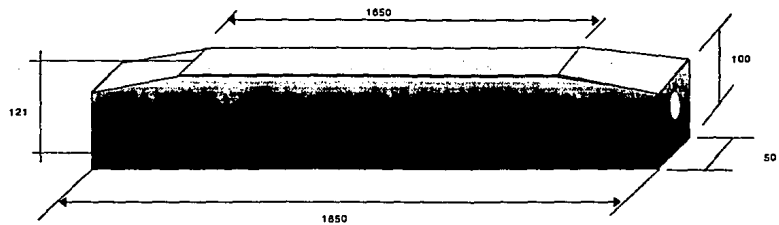
DIMENSIONES (CMS.)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

370	285	24	16	27	5	20	14	27	25	20	82	25	13	2.5	20	110	17	31	18	25	20	26.5
-----	-----	----	----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	----	-----	----	----	----	----	----	------

LOSA TIPO A

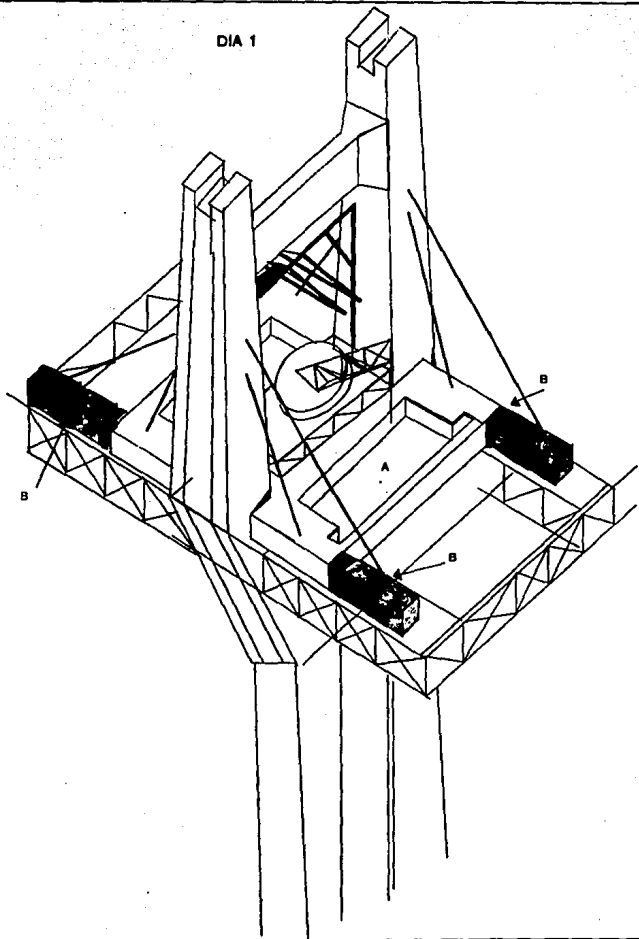
GEOMETRIA DE ALGUNOS ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DEL TABLERO DE LA
SUPERESTRUCTURA (.)



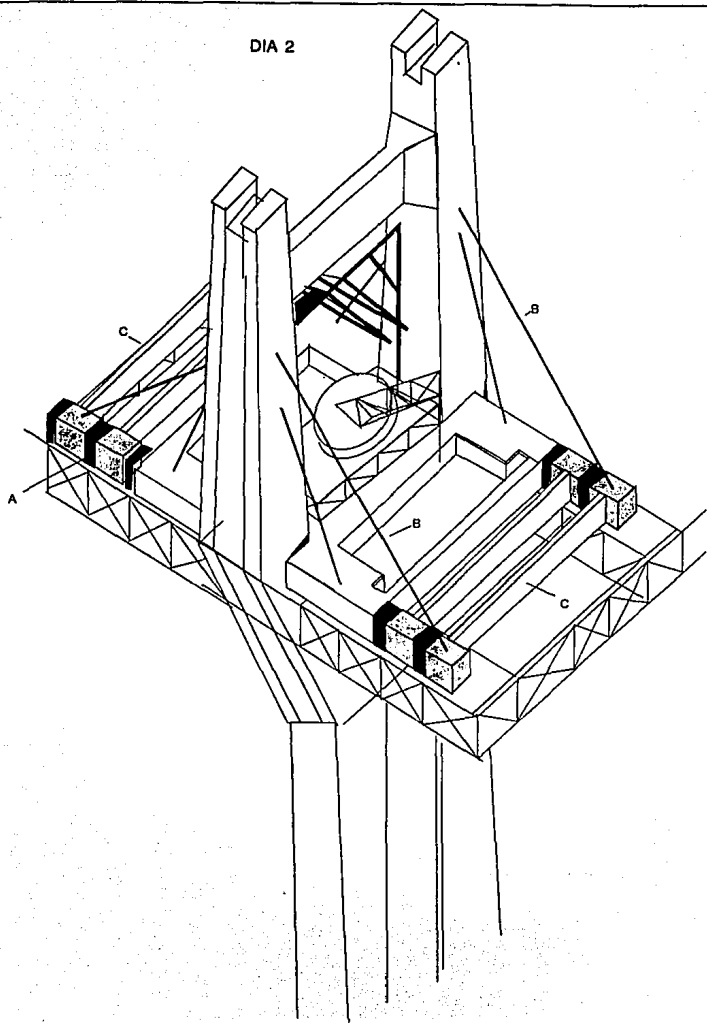
PIEZA DE PUENTE TIPO III

CMS.

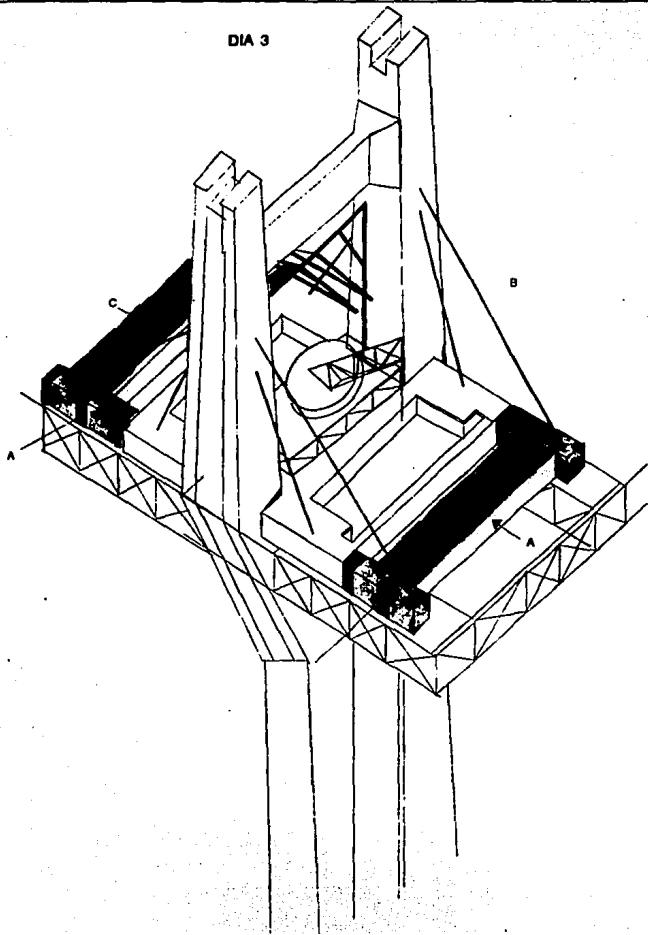
DIA 1



DIA 2



DIA 3



SECUENCIA DE COLOCACION DEL TABLERO DE LA
SUPERESTRUCTURA PILA 2

ACAPULCO

MEXICO

D 46
TIPO XVIII

D 48
TIPO XXIV

D 50
TIPO XXIV

D 52
TIPO XVIII

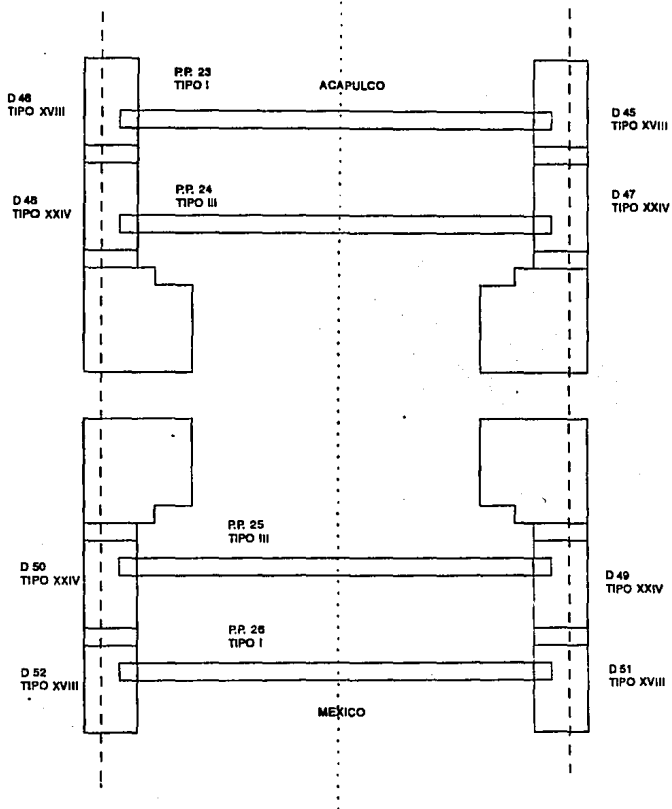
D 45
TIPO XVIII

D 47
TIPO XXIV

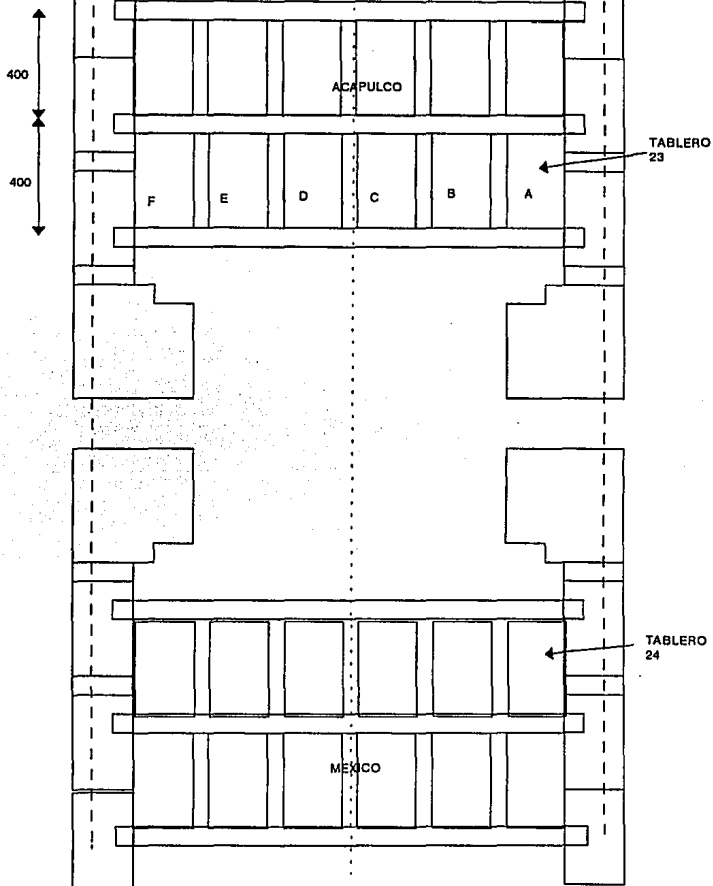
D 49
TIPO XXIV

D 51
TIPO XVIII

SECUENCIA DE COLOCACION DEL TABLERO DE LA SUPERESTRUCTURA PILA 2



SECUENCIA DE COLOCACION DEL TABLERO DE LA
SUPERESTRUCTURA PILA 2





PRESFUERZO EN PIEZA DE PUENTE

CAPITULO 6

Pruebas de comportamiento

6.1. Descripción general

Antes de poner el puente a servicio, se comprobó su comportamiento estructural, colocando vehículos pesados similares a los que fueron utilizados en el diseño. Fueron puestos en diversas posiciones sobre el claro central de 213.2 m para poder producir deformaciones máximas, verticales y transversales en el tableros, en los pilones y en los tirantes, induciéndoles a los mayores valores de esfuerzos.

Se usaron seis camiones, cargados con un peso total superior a las 35 ton cada uno, concentrando 16 ton. en dos ejes separados 1.2 metros.

Fueron determinadas las deformaciones producidas en tres direcciones mediante deformímetros, inclinómetros, etc.

Los esfuerzos se midieron con instrumentos que en algunos casos se colocaron durante la construcción.

Para comprobar los valores medidos se hizo un análisis matemático con las mismas características y combinaciones de cargas móviles y así se pudieron comparar los efectos.

Dado que los resultados fueron satisfactorios se estima que el comportamiento de la estructura será el considerado en el diseño.

Se efectuó además un estudio de la respuesta dinámica del tramo central de 213.2 m. Para ello fue tomado en cuenta el comportamiento no lineal de los tirantes, así como la flexibilidad de la cimentación.

Dicha prueba se efectuó induciendo vibraciones a la estructura al poner camiones pesados en circulación con velocidad inferior a 10 km/h y efectos inducidos. Así mismo se generaron vibraciones libres mediante la carga súbita de una fuerza de 10 ton. en un claro lateral de 94.5 m.

Para conocer los modos de vibración fueron utilizados servoacelerómetros dispuestos vertical o lateralmente, según el modo de vibración que se pretendía identificar.

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

Las lecturas de los dispositivos fueron analizadas con base en conceptos de la teoría de vibraciones aleatorias y del análisis espectral.

Se concluyo como resultado que el factor de amortiguamiento es lo suficientemente grande para asegurar la estabilidad de la estructura.



CIERRE DEL CLARO CENTRAL DEL PUENTE

CAPITULO 7

Capítulo 7

Comentarios y Conclusiones

7.1 Comentarios y conclusiones

Por lo que se refiere a puentes atirantados se puede comentar lo siguiente:

Actualmente los puentes atirantados no parecen ser competitivos en claros menores de 150m. En claros comprendidos entre 200 y 250 m. deberían poder reemplazar de manera económica a los hechos de concreto armado construidos por voladizos sucesivos, con cantos reducidos de vigas. Por encima de los 250 m., en el dominio de grandes claros, los puentes atirantados pueden competir presentando las siguientes ventajas:

La principal ventaja de la construcción por medio de este procedimiento en doble voladizo es la supresión de cimbras y andamios liberando de esta forma el espacio situado por debajo de la obra. Este procedimiento se adapta particularmente bien a las condiciones siguientes:

- Obras con pilas muy altas y que franquean valles largos y profundos (barrancas)
- Ríos con crecidas violentas y súbitas
- Necesidad de dejar libre un gálibo de circulación o navegación sobre la vía franqueada durante la construcción

La forma en que se distribuyen los tirantes denominada atirantamiento múltiple repartido, presenta ciertas ventajas:

- Facilidad de montaje del tablero ya que se puede avanzar la construcción en voladizo hasta el tirante siguiente.
- Simplificación de la transmisión de esfuerzos a la estructura del tablero, por una parte, y a los pilones, por otra, por reducción de las fuerzas concentradas en los puntos de anclaje y disminución de la flexión entre puntos de suspensión.
- Comodidad de sustitución de los tirantes, en caso de deterioro, sin interrumpir la explotación de la obra, pues la supresión eventual de un tirante modifica poco el reparto de esfuerzos en la estructura.

- Excelente estabilidad aerodinámica, a causa del aumento del amortiguamiento propio del sistema debido al número elevado de tirantes de longitud variable y, por tanto, de frecuencias diferentes.

En particular la obra del Puente Quetzalapa presenta los siguientes aspectos:

Durante el procedimiento constructivo resulto importante la supervisión en las distintas etapas y en las distintas áreas, consistiendo a grandes rasgos en:

El control de las deformaciones de los cables de presfuerzo, éste se hizo mediante las lecturas en campo de la fuerza de tensión aplicada por los gatos multitorón y la deformación producida por ellos en los cables, se consideraron para calcular la deformación total las características del acero, tales como número de torones, módulo de elasticidad, etc. donde se aceptaron rangos de error mínimos.

Modificación de zona de relleno por concreto ciclópeo y simple perimetral en estribos y pila 2 donde el nivel de desplante hasta 2 m. debido a que se encontraron agrietamientos en las paredes, producto de la excavación, y para dar un mejor empotramiento.

De el procedimiento constructivo se menciona lo siguiente:

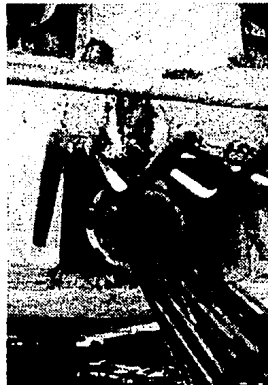
Es costoso, sin embargo, se justifica éste por pertenecer esta obra a la autopista Cuernavaca-Acapulco, en la cual se estimo la recuperación a mediano y largo plazo de la inversión total,

Para la construcción del tablero de la superestructura se eligieron elementos prefabricados los cuales tuvieron que ser elaborados en la Ciudad de México, transportados desde ahí hasta Huitzoco, donde se almacenaron y revisaron las características geométricas de cada pieza (dovela, pieza de puente y losas), aún cuando todo esto, desde el punto de vista constructivo representa rapidez, desde el punto de vista económico es alto, pues bien pudo instalarse cerca de la obra una pequeña planta que fabricara dichos elementos ahorrando así el transporte y el almacenamiento.

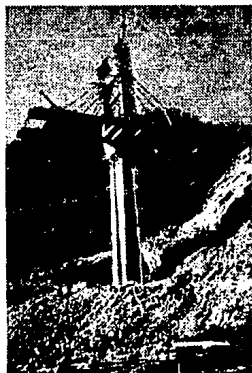
Con la técnica aplicada, donde se obtuvieron recursos de diferentes partes tales como obra de mano, que se contrato en su mayoría de la Ciudad de Tampico, Tamaulipas. o las piezas presforzadas, hechas en Teotihuacán, Edo. de México, así como el equipo de montaje hecho en Italia, se logro organizar y concluir el Puente Quetzalapa



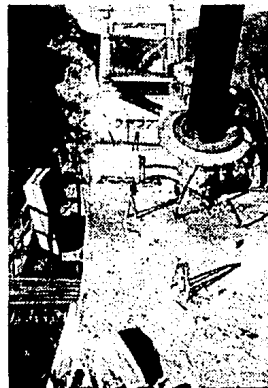
Izaje de prefabricados



Anclaje activo (torones de tirante)



Lanzamiento en doble voladizo



Tubo funda en dovela/pila



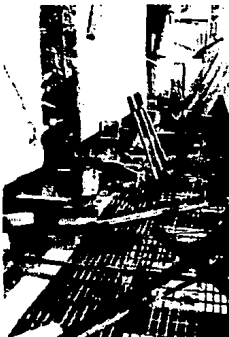
Armado en colados de liga entre dovelas.



Armado de colados de liga entre dovelas, vista frontal



Gatos de nivelación para colocar en ellos las dovelas



Dovelas alineadas sobre los gatos de apoyo



Construcción de pila 3



Cimbrado de Cabezal en Pila 2



Cimbrado y armado de Cabezal.



Izaje de binario (equipo de montaje).

BIBLIOGRAFIA

LA RUTA DEL SOL

Pasado y presente

Secretaría de Comunicaciones y Transporte

Tribasa

ICA

GMD

1 Edición. 1993

REVISTA DE INGENIERIA CIVIL

Puentes

Marzo, Abril 1981

CONSTRUCCION DE PUENTES DE HORMIGON PRETENSADO POR VOLADIZOS SUCESIVOS

J. Mathivat

Editores técnicos asociados S.A.

1980 Barcelona