

108
2ej



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

PUENTE BARRANCA EL ZAPOTE

TESIS

**Que para obtener el Título de:
INGENIERO CIVIL**

Presentan:

**TOLEDO SOLARES MANUEL
VILLAGOMEZ ORTEGA
MAGDALENO**



México, D. F.

1996

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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 esta 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
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-019/93

Señor:
TOLEDO SOLARES MANUEL
VILLAGOMEZ ORTEGA MAGDALENO
Presente.

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Ing. Miguel Morayta Martínez, y que aprobó esta Dirección, para que lo desarrollen ustedes como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

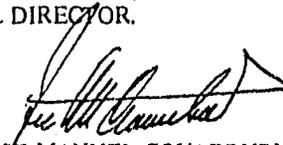
PUENTE "BARRANCA EL ZAPOTE"

- I .- INTRODUCCION
- II .- GENERALIDADES
- III .- PROCESO CONSTRUCTIVO DE PILAS Y PILONES
- IV .- SUPERESTRUCTURA
- V .- CONCLUSIONES

Ruego a ustedes 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 les recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberán 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 22 de Febrero de 1993.
EL DIRECTOR.


JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS/RCR*nlh

A MIS PADRES Y HERMANOS :

Que con todo su cariño y comprensión,
se permitieron brindarme su apoyo en
los momentos cruciales y difíciles, -
cimentando siempre en el concepto uni-
co desinteresado de la familia.

A MI ESPOSA :

LOURDES

En la que encuentro siempre
su apoyo emocional, su com-
prensión sin límites, alen-
tando siempre sin prejuicios
mis metas por alcanzar.

A MIS HIJAS :

GRISELDA YADIRA Y LOURDES.

Que son parte integral de mi
ser y que me han mostrado su
mundo con su inocencia, me per-
mito dedicar el legado materia-
lizado de mis padres como ejem-
plo a seguir en el desarrollo de

A MI PADRE :

Con amor y respeto.

A MI MADRE :

Por su coraje y amor por la vida, fué siempre el impulso para continuar en la búsqueda de mi destino. Dondequiera que se encuentre, celebrará conmigo este logro.

A MIS HERMANOS :

EVELIA, ANGEL, FRANCISCO,
HUMBERTO, ELISA Y PORFIRIO.

Deseándoles siempre éxito
y felicidad.

A MI ESPOSA :

ESPERANZA

Por su amor, comprensión y apoyo
sin los cuales no hubiese sido -
posible, llegar al final de esta meta.

A MIS HIJAS :

ERIKA Y BRENDA

Porque su llegada, fué el
motivo mas importante de -
mi vida, para continuar ade-
lante. Y esto queda, como un
reto para su superación per-
sonal.

AL SR. LUIS ORTEGA B. :

Porque siempre fue un ejemplo
en la lucha constante por la su-
peración. Con admiración de su
nieto.

A DIOS:

Por darnos la vida y permitir
experimentar su creación.

INDICE

1. INTRODUCCION	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Puentes atirantados en México	7
2. GENERALIDADES	14
2.1 Introducción	14
2.2 Proyecto.....	16
2.3 Proyecto Barranca el Zapote	18
2.4 Procedimiento constructivo.....	20
2.4.1 Faces de construcción.....	21
2.5 Materiales utilizados	28
3. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE PILAS Y PILONES	30
3.1 Introducción	30
3.2 Pila No.2	30
3.2.1 Procedimiento constructivo.....	30
3.2.2 Desmante y despalme	31
3.2.3 Excavación	31
3.2.4 Construcción de la Zapata	32
3.2.5 Construcción del cuerpo de pila	33
3.2.6 Construcción del Cabezal	37

3.3	Construcción de Pilones	39
3.3.1	Riostra	44
3.4	Pila No.3	46
3.4.1	Cimentación	47
3.4.2	Cuerpo de Pila.....	47
3.4.3	Construcción de la Riostra	48
3.5	Estribos No. 1 y No. 4	48
3.5.1	Procedimiento constructivo del Estribo No. 1	49
3.5.2	Procedimiento constructivo del estribo No. 4	49
4.	SUPERESTRUCTURA	51
4.1	Introducción	51
4.2	Fabricación y transporte de las Dovelas	52
4.3	Montaje.....	55
4.3.1	Empuje de dovelas	55
4.3.2	Principio del Sistema de Empuje	59
4.4	Superestructura lanzada	62
4.5	Losa de concreto	63
4.6	Atirantamiento	64
4.6.1	Instalación de Tirantes	68
4.7	Pruebas de Carga.....	71
5.	CONCLUSIONES	74

EL PUENTE ES UNA NUEVA NATURALEZA
AL MISMO TIEMPO EXTRAIDA Y DEVUELTA
A LA NATURALEZA NATURAL O
A LA NATURALEZA URBANA
UNA ESPECIAL NATURALEZA,
PENSADA, SENTIDA, RAZONADA,
PERFECCIONADA Y HUMANAMENTE UTILIZADA.
UNA INGENIERIA DIGNA DE LA
GRAN HERENCIA DEL PASADO
PERO SIN OLVIDAR NUNCA QUE,
PARA NOSOTROS LOS INGENIEROS,
EL FUTURO ES LO MAS PROXIMO
Y LO MAS IMPORTANTE,
Y QUE LA ESENCIA DEL MUNDO
ESTA EN EL FRENTE,
NO EN LA RETAGUARDIA.

CAPITULO I : INTRODUCCION

CAPITULO I : INTRODUCCION

1.1 ANTECEDENTES

Los caminos del hombre sobre la tierra son tan viejos como la misma humanidad, y a medida que esta avanza, los caminos se transforman y cada vez llenan mas requisitos por así exigirlo el fin de los mismos: **la comunicación**. Para lograr ésta, se ha tenido que andar un largo trecho en el que la naturaleza ha puesto a prueba el ingenio, la capacidad y el talento del hombre a través del paso de la historia, para ir venciendo cada vez mayores obstáculos con el despliegue de su inteligencia.

Problema insalvable en ese movimiento de ir mas allá de donde se está lo fue el abismo, el río, la barranca o el simple arroyuelo que impedía seguir adelante. Ya Herodoto, llamado "el padre de la Historia", nos dice en su tercer libro que Jerjes en el año 469 a.c., mandó construir un Puente hecho de barcas para poder pasar sus tropas, durante la campaña contra Grecia. Los testimonios mas antiguos de puentes a base de piedras, señala a los egipcios como los pioneros en esta materia, pues ya en el Imperio Antiguo se levantaban con éxito estas construcciones.

En América y en México, el puente era conocido en su forma primitiva y rudimentaria, a base de troncos o grandes ramas de árboles sostenidas o sujetadas con lianas o bejucos. El tronco era tirado sobre el arroyo y sujetado con lianas. Las necesidades no eran mayores y las técnicas de estas construcciones estaba en su etapa de arranque. La cultura Inca, señala la existencia de puentes colgantes con pasarela, para salvar distancias mayores

que los que un tronco de árbol podía cubrir.

En México, la ciudad con mayor número de puentes en servicio fue Tenochtitlán, la ciudad capital de los aztecas, que como todos sabemos se fundó en un islote del Lago de Texcoco y que al ir urbanizándose quedó comunicada por cuatro calzadas que según el mapa de Clavijero, estas fueron: la de Tlacopan, Tepeyac, Del Peñón e Iztapalapa; ya que todo lo demás era agua.

De aquellas calzadas se derivaron acequias, zanjas y canales para cruzarlos requerían puentes. Incluso en la nomenclatura de esa Gran Ciudad, después de muchos años de ser conquistada, ya predominaba la palabra "puente", designando cruceros en los que coincidían una calle de tierra y otra de agua; por ejemplo: Puente de San Dimas (hoy Mesones, entre 5 de Febrero y Pino Suárez); Puente de las Ratas (hoy Bolívar, entre República del Salvador y Mesones); Puente del Blanquillo (hoy Mesones, entre Jesús María y Plaza Juan José Baz) y Puente de la Leña (hoy Corregidora, entre Jesús María y Alhóndiga).

Fue Hernán Cortés, el que por necesidades de su viaje a las Hibueras (Honduras), construyó el mayor número de puentes conocido hasta entonces, utilizando técnicas distintas a las empleadas en México. Entre Noviembre de 1524 a Septiembre de 1526 transcurrió la ida y regreso del conquistador y sus soldados, y donde hubo muchas dificultades porque se cruzaron pantanos y ríos, como en Tabasco, por ejemplo. Y esto lo dice ampliamente Don Antonio García Cubas, en su obra: "Atlas geográfico, estadístico e histórico de la República Mexicana". En esta obra nos dice: "de los pasos de columpio dejados por manos maestras y sabias", refiriéndose a los puentes construidos por el

conquistador y que utilizó para ir y venir a su expedición histórica.

En la urbanización de la Nueva España fue quedando lenta pero firme la influencia de España en asuntos de Ingeniería -al igual que en otros muchos-, como iglesias, colegios, plazas, conventos, fortalezas; lo mismo ocurrió en el terreno de las comunicaciones. El uso del arco comenzó su labor bienhechora, y son numerosísimos, por no decir todos, los casos en que para cruzar ríos y arroyos se empleó el arco hecho a base de cantera o ladrillo, consecuencia directa de la influencia de Roma sobre España y de esta nación sobre México. Gracias a esa "porción continua de la curva", se levantaron acueductos y puentes hechos con piedra volcánica y cal, en una técnica llamada "cal y canto".

Los puentes deben entrar dentro del grupo de obras de arte útiles y deben por lo tanto sujetarse tanto a cánones de la técnica como a los de la estética. En la construcción se hermanan y se conjugan las normas de la ingeniería como los principios de la arquitectura como una de las Bellas Artes. El funcionalismo debe presidir a su hechura, pero no se puede hacer a un lado la belleza, y no debe buscarse ésta en su construcción como fin principal: la belleza debe brotar naturalmente de su función, como brota el encanto de la juventud, porque en las artes útiles, mientras más útil es una forma, más bella es, y esa belleza es percibida por el ojo humano como signo visible de cierta conveniencia de la forma con su función.

Esta teoría, este maridaje entre pragmatismo y estética, lo hay en las fortalezas del Fuerte de San Diego, con su puente

levadizo, como lo hay en San Juan de Ulúa. Ambas son fortalezas militares, pero no están exentas de un magnífico juego de volúmenes en la perspectiva de quien las vea, y mejor si posee la sensibilidad para detectar esos valores.

El Archivo General de la Nación guarda en su bien cuidadas estanterías y gavetas, numerosas informaciones y solicitudes sobre construcciones de esa naturaleza, desde la época colonial hasta los primeros días de este siglo que ya termina. Y quien se atreva a incursionar en este mundo de múltiples facetas se habrá de enterar que es el Bajío quien tiene el mayor número de solicitudes y permisos para puentes y calzadas. Sin olvidar - porque, además de ser una ingratitud, sería una imperdonable omisión- la ciclópea tarea de los religiosos para unir a nuestro territorio por esas nevaduras que son los caminos. Baste recordar a Juan Sebastián de Aparicio y a fray Junípero Serra: dos gigantes, dos héroes de la comunicación, cuando trazar y hacer caminos por desiertos y serranías fue toda una epopeya para escribirse con letras de oro. Y aquí encontramos puentes de varios tamaños y estilos. Las ciudades de Querétaro, Puebla, Morelia, Guanajuato, San Miguel el Grande (hoy, de Allende), Guadalajara y otras recuerdan con afecto a sus benefactores.

Citar todas estas construcciones es tarea imposible para el espacio de que disponemos. Y es que hay lugares donde estas construcciones fueron demolidas, y en otros casos han cambiado de nombre varias veces. Hay puentes con historia y con leyenda que los cronistas de los diferentes lugares han dejado plasmadas en efemérides preciosistas, como lo que escribió el padre Marmolejo, en Guanajuato, en sus ya históricas **Efemérides**

guanajuatenses. El puente de Lagos fue una obra de peaje que ganó el rechazo del público porque se "hacía penosa la cuota fijada por el señor Alcalde, que fijó en 10 reales por persona mayor y 3 centavos por bestia cargada o no". Y como para 1859 aquello era sustancioso, el público pasaba bajo el puente, lo que despertó el enojo del Alcalde, porque entre otras cosas dejaba de percibir los necesarios dineros para la liquidación de la obra, y confeccionó esta leyenda que aún existe como referencia anecdótica: "Este puente se hizo en Lagos y se pasa por arriba".

Hay puentes que por lo registrado en ellos se han hecho inmortales, como el de Calderón, llamado así por haberse construido en la Nueva Galicia por don Francisco Calderón y Rojas, bajo su gobierno que, aunque breve, hizo obras que contribuyeron a la expansión del comercio. Este puente fue famoso por haber derrotado ahí las tropas de Calleja a las de Allende el 17 de Enero de 1811. El puente fue construido en 1667.

El Puente Nacional, en la ruta México-Veracruz, fue escenario de luchas desde la Independencia hasta el Imperio de Maximiliano. Los caminos que conducen a Chihuahua, Zacatecas, Guadalajara, Monterrey, Chiapas, Oaxaca, Tula, etc., están llenos de puentes, algunos en servicio, como el de Acámbaro, entre otros muchos.

Las solicitudes para obras de cuota y peaje fueron muchas, desde 1822, en que las comunicaciones fueron puestas a cargo de la Secretaría de Relaciones Exteriores, pero fue hasta 1835 cuando se formalizaron de manera oficial (aunque con muchas deficiencias) aquellas progresistas construcciones. Sin embargo, a principios del pasado siglo, el notable celayense don Francisco

Tresguerras levantó el Puente de Las Monas, sobre el río de La Laja, y en donde fundió con equilibrio exquisito su funcionalidad con el buen gusto estético, como aún lo puede comprobar quien lo admire con detenimiento. Puente distinto al Abajeño de Acámbaro y al de Salvatierra, ambos sobre el río Lerma.

Y de esta naturaleza es la Calzada de La Palma, como se conoció a la Calzada de Cuitzeo, que se inauguró a las 4 de la tarde del 5 de febrero de 1882. Entre 1860 y 1880 se construyeron nada menos que 50 puentes de distintas longitudes entre Perote y México; Perote y Puebla, México y San Blas, Querétaro y Guadalajara.

En la administración porfirista los ferrocarriles alcanzan un notable avance y nacen los puentes para unir aquellos "caminos de acero". La Revolución impidió muchas construcciones, y fue hasta la administración de Obregón cuando se pusieron las bases para que Calles creara la Comisión Nacional de Caminos y Puentes, y así se inauguró en 1925 la carretera México-Laredo con un puente sobre el río Bravo del Norte, como se le conocía en aquellos años.

Vinieron después carreteras como la México-Guadalajara, vía Morelia, que hizo necesario construir muchos puentes, algunos de hierro. En la administración Avilacamachista y Alemanista se empleó la técnica del concreto armado; en los años de López Mateos se usó el concreto preesforzado. En los años cincuenta se terminó el magnífico puente "Belisario Domínguez" sobre el río Grijalva. En los años sesenta se construyó el Puente Alvarado sobre el río Papaloapan y los puentes Ameca y San Nicolás sobre la carretera Costera del Pacífico.

Entre los puentes de acero, vale la pena mencionar al Puente "Mariano García Sala" y el puente "Fernando Espinoza", el primero sobre la autopista Orizaba-Córdoba, y el segundo en la ruta Guadalajara-Zapotlanejo, sobre el río Santiago. Aquí se emplearon 80,000 remaches, 44,500 kilogramos de soldadura, 10,000 metros cúbicos de concreto, 25,000 kilogramos de acero de refuerzo, 10,000 kilogramos de acero de preesfuerzo y 2,400,000 kilogramos de acero estructural. El puente tiene dos calzadas de 7.5 metros cada una, dos guarniciones, un camellón central que da un total de 17.70 metros de ancho. Todo a una altura de 132 metros.

Con los puentes de arco se llegaron a salvar grandes vanos haciendo el puente cada vez mas alto; con el surgimiento del pretensado ya no fue necesario elevarse tanto para la obtención de luces de gran magnitud y los puentes se hicieron cada vez mas lineales, el empleo con posterioridad de los sistemas de atirantamiento casi no pone límites a los vanos en cuanto a resistencia se refiere.

Los elementos mas importantes del Sistema de Atirantamiento de una estructura, son los cables; de ellos depende la estabilidad de la obra. Y estos pueden ir en abanico, semi-abanico y arpa (Fig. 1.1).

1.2 PUENTES ATIRANTADOS EN MEXICO

a.- Puente Coatzacoalcos II

El primer puente atirantado en México fue el Puente Coatzacoalcos II (Fig. 1.2), el cual está construido sobre el río del mismo nombre, entre las poblaciones de Minatitlán y

Coatzacoalcos, con una longitud total de 1170 metros con alineamiento recto; 472 metros corresponden al viaducto de acceso por la margen izquierda, constituido por tramos de 60 metros de claro y con una pendiente de 5.28%; el tramo principal tiene 698 metros, compuesto de 7 claros, con longitudes de 30.23 metros, 49.42 metros, 112.55 metros, 288.00 metros, 112.35 metros, 60.00 metros y 45.90 metros. El atirantamiento es axial, del tipo medio abanico y compuesto por 17 tirantes, formados con un mínimo de 37 y un máximo de 61 torones. Cada torón es de 150 mm².

Debido a las importantes acciones en el sentido transversal, provocadas por el viento y el sismo, y para no ampliar en forma importante el ancho del tablero, se escogió un mástil del tipo "Y" invertida.

En general, las pilas son las clásicas de sección rectangular huecas, reforzadas y preesforzadas, aquellas que están sujetas a efectos de mayor consideración, excepto las que corresponden al tramo principal, en este caso tienen altura total de 97.00 metros, incluido el mástil y tienen continuidad con el tablero y el mástil, las pilas contiguas también son continuas con el tablero. En el resto de las pilas se tienen apoyos deslizantes en el sentido longitudinal, con topes de concreto para la transmisión de las fuerzas transversales. El espacio libre vertical mínimo, entre el nivel del agua y la superestructura, es de 35.00 metros, para permitir el paso de las embarcaciones.

b.- PUENTE TAMPICO

El Puente Tampico (Fig. 1.3), se localiza sobre el río

Pánuco a 6.00 Km. de su desembocadura. Tiene una calzada para alojar 4 carriles para vehículos y dos banquetas para peatones, con un ancho total de 18.10 metros.

La longitud total del puente es de 1543.00 metros y un claro principal de 360.00 metros, está soportado mediante 22 tirantes anclados en el camellón central de la calzada, es decir, localizados en un solo plano. Debido a la configuración transversal de los pilones y a la necesidad de simplificar los anclajes en estos, se adoptó una disposición en forma de semi-abanico para los tirantes.

Los tirantes están constituidos por torones galvanizados, con capacidad a la ruptura de 18,000 kg/cm², insertados en tubos de polietileno de muy alta densidad, con espesor de 2.00 cm., y gran resistencia a los rayos ultravioleta. Entre tubo y torones se inyectó una cera derivada del petróleo, con alto punto de fusión. Los tirantes mas cortos están constituidos por 30 torones con diámetro de 15.00 mm; los mas largos, por 60 torones de igual diámetro.

Los torones mas largos tienen una capacidad última del orden de 1600 Ton. y, con la carga viva máxima, trabajarán con una tensión del orden de 600.00 Ton., es decir, el 37% de la ruptura.

Las pilas principales tiene una altura de 124.00 metros sobre el nivel del agua, estando cimentadas a una profundidad máxima de 65.00 metros; es decir, alcanzando una altura total de 189.00 metros.

El hincado se hizo mediante el procedimiento de pozo indio. Cabe mencionar que, en el caso del cimiento mas profundo, no pudo lograrse el hincado hasta la profundidad deseada, y, la

cimentación tuvo que complementarse con 84 pilotes de acero, dispuestos alrededor del cilindro.

c.- PUENTE MEZCALA

El Puente Mezcala (Fig. 1.4), se localiza a la altura del kilómetro 150+453.74 de la Autopista Cuernavaca-Acapulco, con origen en el Puerto de Acapulco.

Tiene una longitud total de 881.91 metros, siendo la mayor parte en tangente con una curva horizontal de 3 grados 15 minutos en 196.00 metros de desarrollo, iniciando en la pila No.6 y con dirección hacia el estribo No.7; el ancho de calzada es de 19.10 metros, mismo que permite la circulación de cuatro carriles, dos en cada sentido, divididos por un camellón central de 0.60 metros, dos andadores peatonales laterales de 1.00 metro, cada uno, limitados por una guarnición de carril vehicular.

En su conjunto, la estructura se encuentra sostenida por dos estribos y cinco pilas, todas de concreto armado; de estas cinco pilas, tres son principales y dos secundarias, estas soportan el tablero de los claros centrales; una de ellas tiene una altura máxima de 241.80 metros, incluido el pilón, siendo la de mayor altura que se haya construido en México.

La superestructura tiene un gálibo de 165.30 metros y tiene dos claros principales, uno de 311.44 metros y otro de 299.46 metros, cuatro mas de 83.84 metros, 79.86 metros, 67.87 metros y 39.44 metros; una pendiente longitudinal del 6% del estribo No.1 a la pila No.4 y de esta al estribo No.7. Se tiene una curva vertical con una pendiente variable del 5.8% al 2.8%.

Dichos claros están sostenidos por un atirantamiento a los

extremos formados por tres arpas, las dos extremas formadas por 10 y 11 tirantes a ambos lados y el arpa central, que consta de 14 tirantes por lado, con longitudes variables desde 30.00 metros hasta 205.00 metros, constituidos por torones de 15.00 mm. de diámetro.

d.- PUENTE QUETZALAPA

El Puente Quetzalapa (Fig. 1.5), se encuentra ubicado en el kilómetro 203+665 de la autopista México-Acapulco, en el tramo Chilpancingo-Río Balsas. Este puente ocupa el cuarto lugar en dimensiones, entre los puentes atirantados en México. Sus características principales son el tipo atirantado con una longitud total de 424 metros, tomando en cuenta su claro principal entre las pilas 2 y 3, que es de 213 metros. Su altura libre entre las pilas 2 y 3 es de 112.50 metros, con un ancho total de puente de 21.40 metros. Las características de la pila No. 3 son: la altura de la pila desde el nivel de desplante hasta el nivel de la superestructura es de 82.42 metros, y su altura máxima de la pila, que va desde su desplante hasta el remate del pilón, es de 127.23 metros.

La sección de las pilas es variable, ya que en su arranque mide 8.432 m x 14.00 m y llega decreciendo al nivel superior de la calzada a 3.00 m x 14.00 m, en ambas pilas (2 y 3), ampliándose lateralmente a 24.60 metros de ancho a nivel de rasante, incluidos los dos pilones los cuales serán del tipo "H" y tipo "A", en los cuales fueron anclados los tirantes.

La superestructura está conformada a base de trabes con dovelas de concreto presforzado suspendidas con tirantes. Los

tirantes están conformados con torones de 5/8" de diámetro. Sobre estas traveses se apoyan piezas de puentes presforzadas integradas a las traveses. Sobre las piezas puente se apoyan losas de concreto reforzado. Todos los elementos que conforman este puente son precolados.

Los claros están sostenidos por un atirantamiento que forma dos arpas. Estas arpas están integradas por 13 tirantes a ambos lados con longitudes variables y conformados por torones de 15 mm de diámetro.

a.- PUENTE BARRANCA EL CAÑÓN

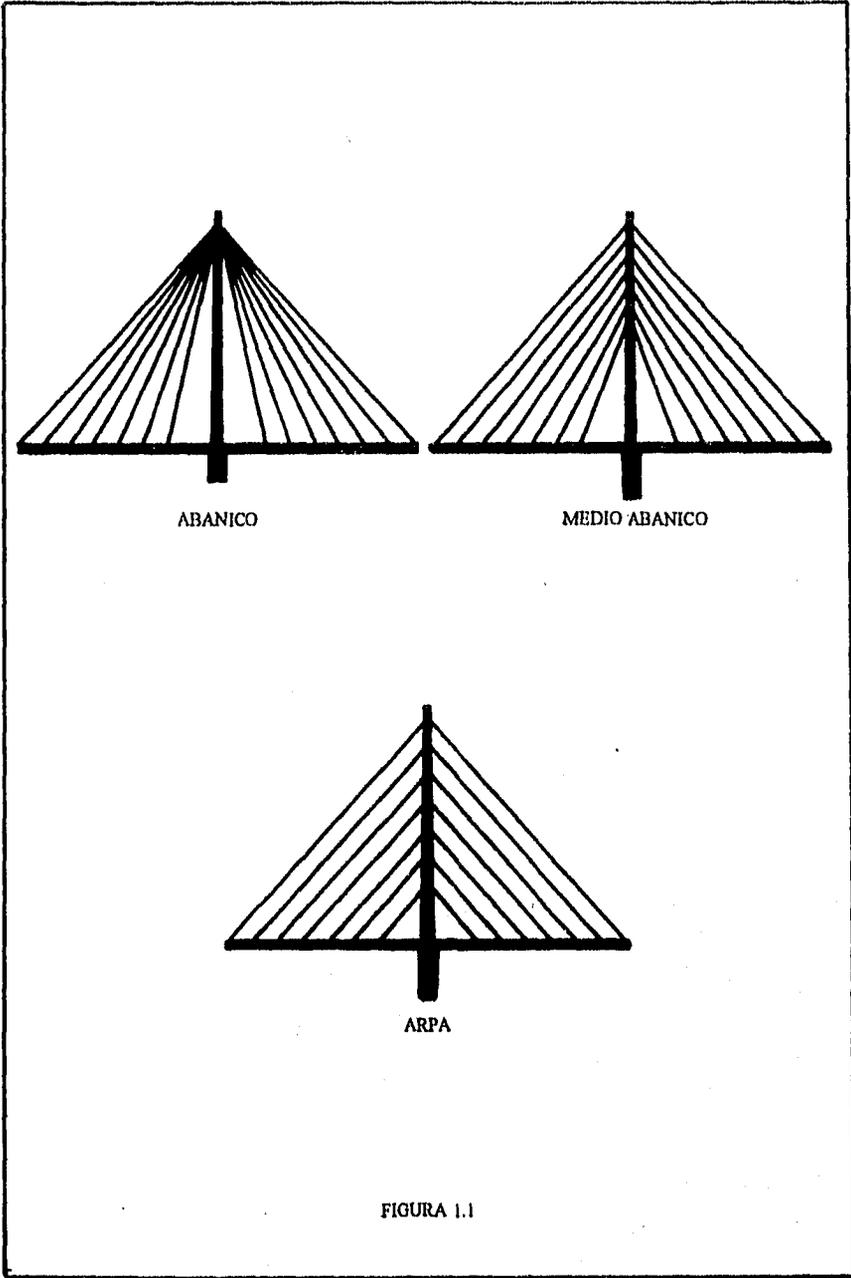
El Puente Barranca el Cañón (Fig. 1.6), ubicado en el kilómetro 134+784 de la Autopista Cuernavaca-Acapulco, con origen en el Puerto de Acapulco, a unos 15 kilómetros adelante de Tula del Río, en dirección hacia Acapulco. Este puente atirantado es uno de los seis mas grandes de su tipo en México. Tiene una longitud total de 260.80 metros y una altura máxima de 68.47 metros.

El ancho total del puente es de 21.40 metros con cuatro carriles de circulación, su pendiente longitudinal es de 4% y su pendiente transversal es del 2%. Cuenta además con cinco apoyos, los cuales son tres pilas y dos estribos, que conforman cuatro claros: 49.40 m, 166.00 m, 24.00 m y 21.40 m, el apoyo principal es la pila No. 2 con una altura de 115.17 metros incluyendo al pilón.

Las pilas No. 3 y No. 4 constan de dos columnas huecas arriostradas por una trabe que las une en la parte superior donde también sirve de cabezal para la superestructura. La pila No. 2

tambien consta de dos pilas arriostradas, continuando sobre la superestructura para formar los pilones donde se anclan los tirantes.

La superestructura está conformada por dovelas que son de acero estructural A-36, formadas con vigas longitudinales en los extremos y unidas por vigas transversales (piezas puente) a cada cuatro metros. Los claros entre vigas transversales cuentan con largueros que sostienen losacero, que funciona a la vez como cimbra para sostener el concreto de la losa superior.



PUENTE COATZACOALCOS II

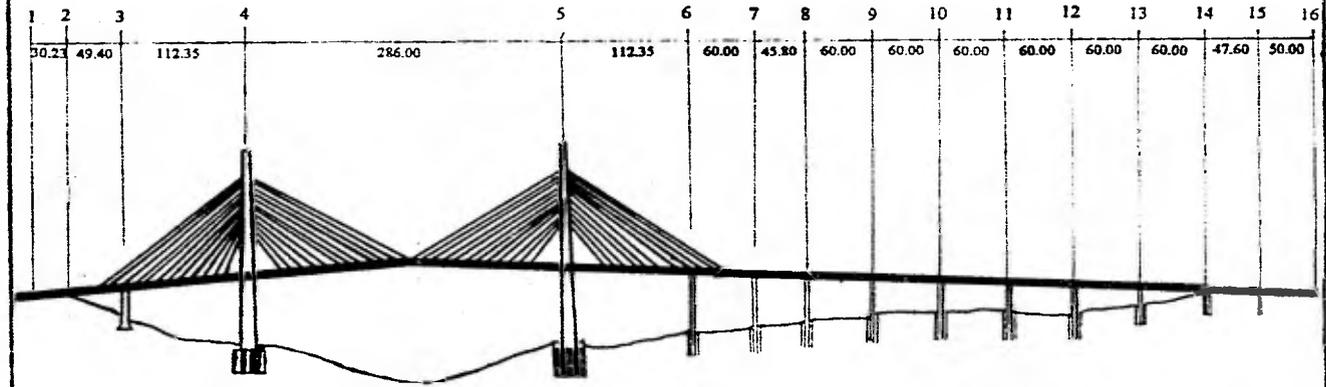


FIGURA 1.2

PUENTE TAMPICO

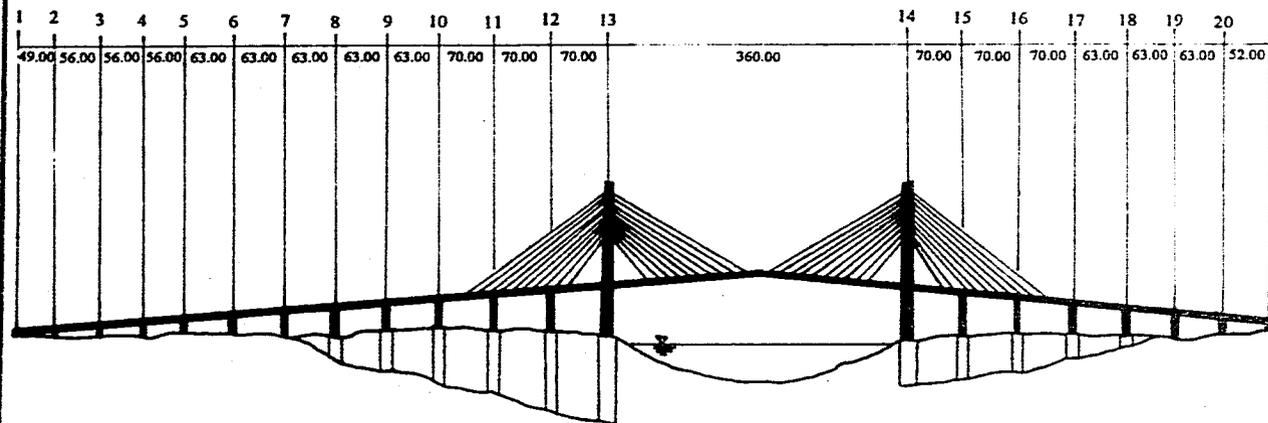


FIGURA 1.3

PUENTE MEZCALA

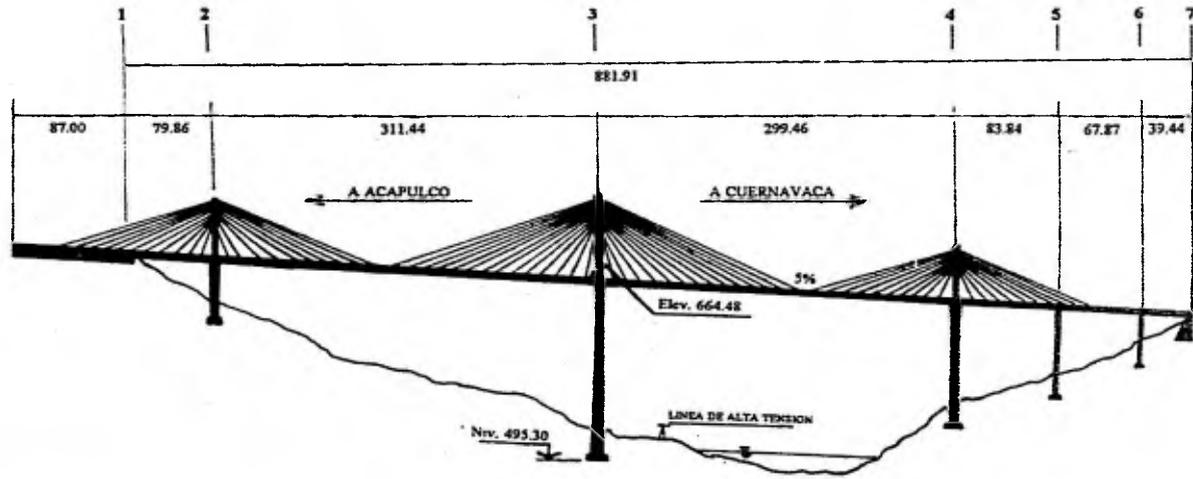


FIGURA 1.4

PUENTE QUETZALAPA

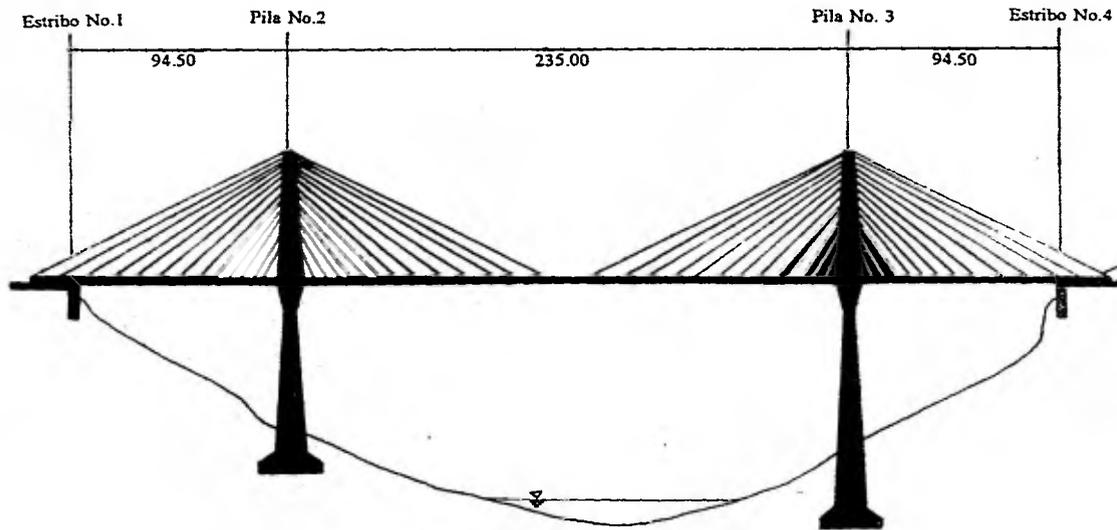
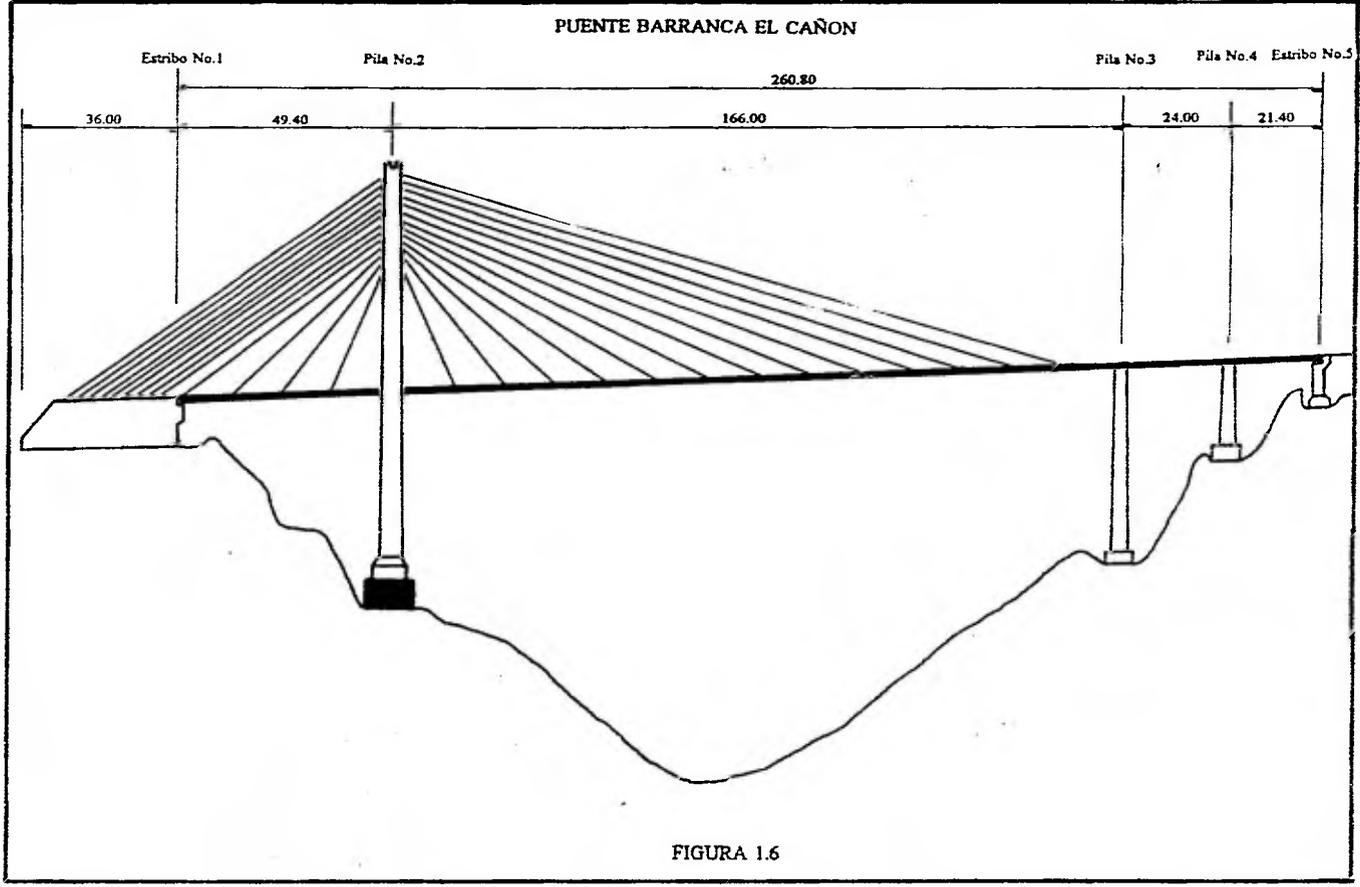


FIGURA 1.5



CAPITULO II : GENERALIDADES

CAPITULO II GENERALIDADES

2.1 INTRODUCCION

En 1989, el Gobierno Federal convocó a la iniciativa privada para participar bajo el esquema de concesión, en un programa para construir 4,000 kilómetros de nuevas autopistas de cuota.

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes (S.C.T.), es la entidad federativa, encargada de otorgar las concesiones para construir y operar las autopistas de cuota, con distintos plazos que, de acuerdo con la ley, no pueden ser mayores de 30 años. Al término de este plazo, las autopistas pasan a ser del dominio del Gobierno Federal.

Dentro de este Programa Nacional de Autopistas Concesionadas, uno de los proyectos mas importantes es la Autopista del Sol, que con sus 274.00 kilómetros, sumados a los 95.00 kilómetros existentes de la Autopista México-Cuernavaca, unen a la capital del País con el Puerto de Acapulco.

Para llevar a cabo el proyecto se formó una asociación, con la participación de las siguientes empresas: Ingenieros Civiles Asociados, S.A. de C.V. (ICA); Triturados Basálticos y Derivados, S.A. de C.V. (Tribasa) y Grupo Mexicano de Desarrollo, S.A. de C.V. (GMD).

La construcción se inició en Septiembre de 1989. El tramo entre Acapulco y Chilpancingo (aproximadamente 114 Km. incluyendo la vialidad de acceso al Puerto), quedó a cargo de Grupo Mexicano

de Desarrollo; a partir de Chilpancingo y hasta 70 Km. en dirección a Cuernavaca, la obra fue realizada por el Grupo ICA; y el tramo restante (aproximadamente 90 Km.), 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.

-Mano de Obra y Maquinaria.

En la obra participaron más de 11 mil personas y fueron utilizadas 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.

	P E R S O N A L			
	GMD	ICA	Tribasa	TOTAL
INGENIEROS	200	200	210	610
TECNICOS	228	245	215	688
TRABAJADORES	3020	3373	3745	9713
Total	3448	3818	3745	11011

	M A Q U I N A R I A Y E Q U I P O			
	GMD	ICA	Tribasa	TOTAL
PESADO	420	480	500	1400
MEDIANO	360	380	300	1040
VEHICULOS	440	380	360	1180
Total	1220	1240	1160	3620

-Aportación Financiera.

La aportación financiera al fideicomiso fue la siguiente:

- ICA, TRIBASA, GMD	30%
- Grupo de bancos encabezados por: Banca Serfin, Comermex, Banco del Atlántico, Cremi, Promex y Banpais.	40%
- Caminos y Puente Federales	20%
- Gobierno del Estado de Guerrero	5%
- Petróleos Mexicanos	5%

El costo total del proyecto, fue del orden de 2.8 billones de pesos de 1989, esto implica que la recuperación debe realizarse sobre la base de 423.09 pesos ponderados por kilómetro si se considera que la autopista es de 274 Km., la estimación de tránsito beneficiado será de 4070 vehículos por día, con una tasa de crecimiento anual de 4% . La concesión es a 14 años y 8 meses.

2.2 PROYECTO

Acapulco, es además de un centro turístico de gran importancia, un puerto al cual llegan gran cantidad de mercancías procedentes de los países que se localizan en la Franja del Pacífico. Debido a esto era indispensable contar con una autopista que contara con la capacidad y servicios suficientes para satisfacer el intenso tránsito vehicular, tanto de carga, como de pasaje. Debido a estas necesidades se dio origen a dos proyectos: el primero de Tierra Colorada-Acapulco, concesionado en Julio de 1989 y el segundo de Cuernavaca-Tierra Colorada,

concesionado en diciembre del mismo año (Fig. 2.1).

Estos dos proyectos dieron origen a la Autopista Cuernavaca-Acapulco, la cual se une a la Ciudad de México a través de la Autopista México- Cuernavaca.

La nueva Autopista se trazó en cuatro carriles con barrera central. Y a lo largo de sus 274.00 kilómetros, tiene 49 estructuras importantes, entre las que destacan 10 puentes especiales y cuatro túneles. Además cuenta con obras accesorias incontables que incluyen: Pasos Vehiculares y Ganaderos, a cada 2.5 kilómetros; también cuenta con aproximadamente un millar de obras de drenaje; cuatro casetas principales, que son: La Venta, en Acapulco; Palo Blanco, en Chilpancingo; Paso Morelos, a la altura de Huitzuc y Alpuyecá. Además cuenta con trece entronques con carreteras regionales y federales en: Palmira, Burgos, Brisas, Santa Fé, Xochitepec, Alpuyecá, Puente de Ixtlá, Tehuixtla, Paso Morelos, Piedras Prietas, Petaquillas, Tierra Colorada y La Venta.

Especificaciones del Proyecto

Longitud total	274.00 Km.
Tiempo de recorrido	3 horas, a velocidad media autorizada
Velocidad máxima del proyecto	110 Km/hr.
Pendiente gobernadora	5%
Grado máximo de curvatura	2°45'
Ancho de corona	21 metros (4 carriles)
Ancho por cuerpo	2 carriles de 3.5 m. cada uno, 2.5 m. en acotamiento

lateral derecho y 1.00 m. de
acotamiento lateral
izquierdo.

A continuación se hace mención de las estructuras más importantes que se localizan en la autopista (Fig. 2.1)

Tipo de Estructura	Nombre	Ubicación (Km)
Puente	Quetzalapa	205
Túnel	Los Querendes	189
Puente	Mezcala	150
Puente	Barranca el Cañón	134
Puente	Barranca el Zapote	114
Túnel	Agua de Obispo	068
Puente	Papagayo	042
Túnel	Tierra Colorada	038

Entre las múltiples ventajas que ofrece esta autopista, figura lo siguiente: reducción de la distancia en 52 kilómetros; ahorro de dos horas en tiempo de recorrido; velocidad constante; mayor seguridad para el usuario; ahorro en el consumo de combustible y lubricantes; y menor desgaste de motor y llantas.

2.3 PROYECTO BARRANCA EL ZAPOTE

El Puente Barranca el Zapote (Fig. 2.2), se localiza en el kilómetro 114+425 de la Autopista Cuernavaca-Acapulco, con origen en el Puerto de Acapulco, a una distancia aproximada de 4.00

kilómetros de la carretera federal. Este puente está considerado entre los cinco más grandes de su tipo en México.

Las alternativas analizadas, de acuerdo al Proyecto Geométrico para el cruce de este punto, fueron: La construcción de un terraplén o la construcción de un puente, optándose por este último por mayor factibilidad técnica y económica.

El Puente Barranca el Zapote es una estructura atirantada, la subestructura está conformada por dos estribos y dos pilas de concreto armado, y la superestructura es una conformación mixta compuesta por vigas de acero y losa de concreto armado.

El ancho total de la estructura es de 21.00 metros, tiene una longitud total de 267.66 metros en tangente, el ancho de calzada es de 17.00 metros, con circulación de cuatro carriles, dos en cada sentido, divididos por una barrera central de 0.60 metros, dos andadores peatonales de 1.30 metros cada uno, limitados por una guarnición del carril vehicular y acotamientos de 0.50 metros.

La superestructura se encuentra sostenida, por dos estribos y dos pilas de concreto armado. Siendo la pila No. 2 la principal con una altura máxima de 124.31 metros.

El estribo número uno tiene una dimensión de 25.00 m x 30.65 m x 1.50 m, siendo este elemento, en donde se anclan los tirantes para sostener el tramo de la superestructura 2-3.

La pila número dos está constituida de un solo cuerpo de sección cajón. Esta pila está apoyada en una zapata cuyas dimensiones son, de 29.00 m x 10.00 m x 5.00 m.

La pila número tres consta de dos zapatas aisladas, cuyas dimensiones son de 8.00 m x 9.00 m x 2.75 m, estando cada una de

ellas ancladas al terreno natural, por medio de 12 anclas 7 T 13. Los cuerpos de la pila son de sección variable y van de 3.07 m x 2.50 m a 2.50 m x 2.50 m.

La estructura de la calzada está conformada por dos vigas de alma llena en los extremos, con vigas Puente a cada 4 metros y un peralte de 1.87 metros, con losa de concreto reforzado en la superficie de rodamiento, con un espesor de 23.00 cm y una carpeta asfáltica de 3.00 cm. de espesor. La rasante tiene una pendiente del 5% del estribo número uno al estribo número cuatro.

Los claros principales están sostenidos por un atirantamiento formado por un arpa que consta de 14 tirantes por lado, con longitudes variables de 173.60 metros el mayor y 40.80 metros el menor, constituidos por torones de 16.00 mm de diámetro.

2.4 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

Para poder tener acceso al sitio donde se realizaría la obra, fue necesario mejorar y ampliar el camino de acceso ya existente de terracerías, que comunica los pequeños pueblos aledaños con la carretera federal. A partir de este camino, fue necesario el uso de un tractor para realizar el acceso al lugar donde se desplantarían los dos estribos y las dos pilas, y en donde fue necesario establecer cuatro frentes de trabajo.

En el sitio de construcción de la obra, fue necesario instalar una planta dosificadora de concreto, en donde se fabricaron todos los concretos requeridos para la misma. Así también fue instalado un laboratorio donde se realizaron las

pruebas requeridas, para llevar un buen control de los mismos.

Los agregados pétreos (arena y grava), necesarios para la elaboración de los concretos, fueron suministrados por una planta trituradora, ubicada a 15 kilómetros en dirección a Cuernavaca.

El tipo de roca encontrado en la zona de desplante del puente, fue una toba riolítica masiva poco fracturada. Debido a este tipo de material, fue necesario el uso de explosivos y equipo mecánico para realizar las excavaciones, y así poder llevar a cabo el desplante de cada uno de los apoyos.

2.4.1 Fases de Construcción

Fase de construcción No. 1

- 1.- Se realizan excavaciones para cimentaciones de estribo No.1, zapatas de pilas 2 y 3 y estribo No.4.
- 2.- Se construye estribo No.1 hasta nivel indicado y zapata de pila No.2.
- 3.- Se construye pila No.2, hasta nivel de superestructura.
- 4.- Se construye zapata y pila No.3.
- 5.- Se construye estribo No. 4 hasta nivel indicado.
- 6.- Se construye estructura provisional I y II.

Fase de construcción No. 2.

- 1.- Armar superestructura de acero en una longitud de 74.50 metros, en el lado Acapulco y por encima del estribo No.1, incluyendo traveses, piezas de puente y losacero, en una longitud de 64.50 metros.
- 2.- Continuar con la construcción del Pílon No.2 hasta elevación 1311.21.

Fase de construcción No.3

- 1.- Lanzar superestructura de acero, apoyándose en las estructuras provisionales.

Fase de Construcción No.4

- 1.- Completar el colado de la parte superior del estribo No.1.
- 2.- Colar losa de concreto desde el estribo No.1 hasta la pila No.2 en una longitud total de 64.50 metros en dos etapas, primero la zona "A" y segundo la zona "B", dejando un período de 3 días, entre el colado de ambas zonas.

Fase de construcción No.5

- 1.- Colocar cimbra de losacero del eje de P-17 al eje de P-19.
- 2.- Se coloca equipo de instalación de tirantes.
- 3.- Se instalan y tensan tirantes T-1td, T-1ti, T-1ad y T-1ai.
- 4.- Colar losa en una longitud de 8.00 metros del eje de P-17 al eje de P-19.

Fase de construcción No.6

- 1.- Se coloca equipo de montaje entre pila P2 y tirante T-19.
- 2.- Se instalan traveses T-1i y T-1d.
- 3.- Se instalan piezas puente P-20, P-21 y P-22.
- 4.- Colar cimbra de losacero del eje de P-19 al eje de P-22.
- 5.- Se coloca equipo de instalación de tirantes.
- 6.- Se instalan y tensan tirantes T-2ai, T-2ti, T-2td y T-2ad.
- 7.- Colar losa en una longitud de 12.00 m del eje de P-19 al eje de P-22.

Fase de construcción No.7

- 1.- Se coloca equipo de montaje entre T-1a y T-2a.
- 2.- Se instalan traveses T-2i y T-2d.
- 3.- Se instalan piezas de puente P-23, P-24 y P-25.
- 4.- Colocar cimbra de losacero del eje de P-22 al eje de P-25.
- 5.- Se coloca equipo de instalación de tirantes.
- 6.- Se instalan y tensan tirantes T-3ai, T-3ti, T-3ad y T-3td.
- 7.- Colocar losa en una longitud de 12.00 m. del eje de P-22 al eje P-25.

Fase de construcción No.8

- 1.- Se coloca equipo de montaje entre T-2a y T-3a.
- 2.- Se instalan traveses T-3i y T-3d.
- 3.- Se instalan piezas de puente P-26, P-27 y P-28.
- 4.- Colocar cimbra de losacero del eje de P-25 al eje P-28.
- 5.- Se coloca equipo de instalación de tirantes.
- 6.- Se instalan y tensan tirantes T-4ai, T-4ti, T-4ad y T-4td.
- 7.- Colocar losa en una longitud de 12.00 m. del eje de P-25 al eje de P-28.

Fase de construcción No.9

- 1.- Se coloca equipo de montaje entre T-3a y T-4a.
- 2.- Se instalan traveses T-4i y T-4d.
- 3.- Se instalan piezas de puente P-29, P-30 y P-31.
- 4.- Colocar cimbra de losacero de eje P-28 al eje P-31.
- 5.- Se coloca equipo de instalación de tirantes.
- 6.- Se instalan y tensan tirantes T-5ai, T-5ti, T-5ad y T-5td.
- 7.- Colocar losa en una longitud de 12.00 m., del eje de P-28 al eje de P-31.

Fase de construcción No.10

- 1.- Se coloca equipo de montaje entre T-4a t T-5a.
- 2.- Se instalan traveses T-5i y T-5d.
- 3.- Se instalan piezas de puente P-32, P-33 y P-34.
- 4.- Colocar cimbra de losacero del eje P-31 al eje P-34.
- 5.- Se coloca equipo de instalación de tirantes.
- 6.- Se instalan y tensan tirantes T-6ai, T-6ti, T-6ad y T-6td.
- 7.- Colar losa en una longitud de 12.00 m., del eje de P-31 al eje de P-34.
- 8.- Se retiran estructuras provisionales I y II.
- 9.- Se construye estructura provisional III en el tramo 3-4.
- 10.- Armar superestructura de acero de acero en una longitud de 34.00 m. en el lado México, incluyendo traveses, piezas puente y losacero en una longitud de 33.00 m.

Fase de construcción No.11

- 1.- Se coloca equipo de montaje entre T-5a y T-6a.
- 2.- Se instalan traveses T-6i y T-6d.
- 3.- Se instalan piezas de puente P-35, P-36 y P-37.
- 4.- Colocar cimbra de losacero de eje P-34 al eje P-37.
- 5.- Se coloca equipo de instalación de tirantes.
- 6.- Se instalan y tensan tirantes T-7ai, T-7ti, T-7ad y T-7td.
- 7.- Colar losa en una longitud de 12.00 m., del eje de P-34 al eje de P-37.
- 8.- Lanzar superestructura de acero apoyando en la estructura provisional.

Fase de construcción No.12

- 1.- Se coloca equipo de montaje entre T-6a y T-7a.
- 2.- Se instalan traveses T-7i y T-7d.
- 3.- Se instalan piezas de puente P-38, P-39 y P-40.
- 4.- Colocar cimbra de losacero del eje P-37 al eje P-40.
- 5.- Se coloca equipo de instalación de tirantes.
- 6.- Se instalan y tensan tirantes T-8ai, T-8ti, T-8ad y T-8td.
- 7.- Colar losa en una longitud de 12.00 m., del eje de P-37 al eje de P-40.
- 8.- Completar el colado de la parte superior del estribo No.4.
- 9.- Colar losa de concreto desde el estribo No. 4 hasta la pila No.3 en una longitud total de 33.00 m. en dos etapas: primero la zona "A" y posteriormente la zona "B", dejando un período de tres días entre el colado de ambas zonas.

Fase de construcción No.13

- 1.- Se coloca equipo de montaje entre T-7a y T-8a.
- 2.- Se instalan traveses T-8i y T-8d.
- 3.- Se instalan piezas de puente P-41, P-42 y P-43.
- 4.- Colocar cimbra de losacero de eje de P-40 al eje de P-43.
- 5.- Se coloca equipo de instalación de tirantes.
- 6.- Se instalan y tensan tirantes T-9ai, T-9ti, T-9ad y T-9td.
- 7.- Colar losa en una longitud de 12.00 m., del eje de P-40 al eje de P-43.

Fase de construcción No.14

- 1.- Se coloca equipo de montaje entre T-8a y T-9a.
- 2.- Se instalan traveses T-9i y T-9d.

- 3.- Se instalan piezas de puente P-44, P-45 y P-46.
- 4.- Colocar cimbra de losacero del eje de T-43 al eje de P-46.
- 5.- Se coloca equipo de instalación de tirantes.
- 6.- Se instalan y tensan tirantes T-10ai, T-10ti, T-10ad y T-10td.
- 7.- Colar losa en una longitud de 12.00 m., del eje de P-43 al eje de P-46.

Fase de construcción No.15.

- 1.- Se coloca equipo de montaje entre T-9a y T-10a.
- 2.- Se instalan trabes T-10i y T-10d.
- 3.- Se instalan piezas de puente P-43, P-48 y P-49.
- 4.- Colocar cimbra de losacero del eje de P-46 al eje de P-49.
- 5.- Se coloca equipo de instalación de tirantes.
- 6.- Se instalan y tensan tirantes T-11ai, T-11ti, T-11ad y T-11td.
- 7.- Colar losa en una longitud de 12.00 m., del eje de P-49 al eje de P-49.

Fase de construcción No.16

- 1.- Se coloca equipo de montaje entre T-10a y T-11a.
- 2.- Se instalan trabes T-11i y T-11d.
- 3.- Se instalan piezas de puente P-50, P-51 y P-52.
- 4.- Colocar cimbra de losacero del eje de P-49 al eje de P-52.
- 5.- Se coloca equipo de instalación de tirantes.
- 6.- Se instalan y tensan tirantes T-12ai, T-12ti, T-12ad y T-12td.
- 7.- Colar losa en una longitud de 12.00 m., del eje de P-49 al eje de P-52.

Fase de construcción No.17

- 1.- Se coloca equipo de montaje entre T-11a y T-12a.
- 2.- Se instalan traveses T-12i y T-12d.
- 3.- Se instalan piezas de puente P-53, P-54 y P-55.
- 4.- Colocar cimbra de losacero del eje de P-52 al eje de P-55.
- 5.- Se coloca equipo de instalación de tirantes.
- 6.- Se instalan y tensan tirantes T-13ai, T-13ti, T-13ad y T-13td.
- 7.- Colar losa en una longitud de 12.00 m., del eje de P-52 al eje de P-55.

Fase de construcción No.18

- 1.- Se coloca equipo de montaje entre T-12a y T-13a.
- 2.- Se instalan traveses T-13i y T-13d.
- 3.- Se instalan piezas de puente P-56, P-57 y P-58.
- 4.- Se coloca cimbra de losacero del eje de P-55 al eje de P-58.
- 5.- Se coloca equipo de instalación de tirantes.
- 6.- Se instalan y tensan tirantes T-14ai, T-14ti, T-14ad y T-14td.
- 7.- Colar losa en una longitud de 12.00 m., del eje de P-55 al eje de P-58.

Fase de construcción No.19

- 1.- Se coloca equipo de montaje entre T-13a y T-14a.
- 2.- Se instalan traveses de cierre.
- 3.- Se instala pieza de puente P-59.
- 4.- Colocar cimbra de losacero del eje de P-58 al eje de P-60.
- 5.- Colar losa en una longitud de 8.00 m., del eje de P-58 al

eje de P-60.

6.- Se retira estructura provisional III.

Fase de construcción No.20

1.- Se realizan obras complementarias tales como: barrera central, barreras laterales, guarniciones, etc., y por último la colocación de la carpeta asfáltica.

2.5 MATERIALES UTILIZADOS

Los materiales empleados en la construcción del puente se muestran en la siguiente tabla. Estos conceptos representan aproximadamente un 65% del costo total de la obra.

CONCEPTO	UNIDAD	P.U. (\$)	CANTIDAD	IMPORTE
ESTRIBO No. 1 (SUBESTRUCTURA)				
CONCRETO SIMPL EN PLANTILLA FC=150 KGCM2	M3	448,800.0	39.0	17,508,710.0
ACERO DE REFUERZO EN LOSA DE CIMENTACION	KG	3,068.8	48,963.0	150,372,948.0
CONCRETO FC=250 KGCM2 EN LOSA DE CIMENTACION	M3	1,524,712.0	1,164.0	1,774,784,784.0
ACERO DE REFUERZO EN MUROS Y GALERIAS	KG	3,068.8	789,779.0	843,788,577.8
CONCRETO FC=250 KGCM2 EN MUROS Y GALERIAS	M3	1,802,896.0	1,440.0	2,740,165,840.0
CONCRETO FC=300 KGCM2 EN MUROS Y GALERIAS	M3	2,272,703.0	128.2	293,789,589.7
ACERO DE REFUERZO EN LOSA SUPERIOR	KG	3,068.8	81,878.0	189,282,300.8
CONCRETO FC=300 KGCM2 EN LOSA SUPERIOR	M3	2,272,703.0	490.0	1,113,624,470.0
RUA No. 2 (SUBESTRUCTURA)				
CONCRETO CICLOSO FC=150 KGCM2 EN PLANTILLA	M3	647,808.0	8.2	5,342,786.0
ACERO DE REFUERZO EN ZARATA	KG	3,068.8	85,148.0	189,831,384.0
CONCRETO FC=250 KGCM2 EN ZARATA	M3	1,824,712.0	1,334.0	2,033,985,804.0
ACERO DE REFUERZO EN CUERPO	KG	3,068.8	133,212.0	408,811,842.5
CONCRETO FC=300 KGCM2 EN CUERPO	M3	2,238,880.0	830.8	1,411,605,879.8
ACERO DE REFUERZO EN CAMEZAL	KG	3,068.8	106,858.0	325,172,347.0
CONCRETO FC=300 KGCM2 EN CAMEZAL	M3	2,238,880.0	783.4	1,709,127,880.5
ACERO DE REFUERZO EN CAMEZAL INT 15	KG	22,084.0	8,469.8	182,878,083.2
RUA No. 3 (SUBESTRUCTURA)				
ACERO DE REFUERZO EN BLOQUE (PRIMERA PARTE)	KG	3,880.0	132,884.0	512,837,240.0
CONCRETO FC=250 KGCM2 EN BLOQUE (PRIMERA PARTE)	KG	3,778.0	132,884.0	501,796,964.0
CONCRETO FC=250 KGCM2 EN BLOQUE (IIA PARTE)	M3	2,488,848.0	879.3	1,440,568,827.1
ACERO DE REFUERZO EN BLOQUE	KG	3,880.0	31,538.0	121,736,880.0
CONCRETO FC=300 KGCM2 EN BLOQUE	M3	2,488,848.0	182.5	404,078,875.0
ACERO DE REFUERZO EN BLOQUE (SEGUNDA PARTE)	KG	3,880.0	88,517.0	380,275,820.0
CONCRETO FC=300 KGCM2 EN BLOQUE (SEGUNDA PARTE)	KG	3,778.0	107,430.0	405,855,880.0
CONCRETO FC=300 KGCM2 EN BLOQUE (2A PARTE)	M3	2,488,848.0	317.8	700,554,488.3
BARRAS DE REFUERZO (OMDAG)	KG	47,388.0	8,578.0	311,573,548.0
RUA No. 4				
CONCRETO EN PLANTILLA FC=150 KGCM2	M3	448,800.0	102.8	46,145,802.0
ACERO DE REFUERZO EN ZARATA	KG	3,068.8	41,704.0	127,984,571.5
CONCRETO FC=250 KGCM2 EN ZARATA	M3	1,524,712.0	388.0	803,786,852.0
ACERO DE REFUERZO EN CUERPO	KG	3,068.8	81,238.0	248,303,535.8
CONCRETO FC=300 KGCM2 EN CUERPO	M3	2,238,880.0	728.0	508,843,840.0
ACERO DE REFUERZO EN BLOQUE	KG	3,068.8	18,475.0	56,498,798.0
CONCRETO FC=300 KGCM2 EN BLOQUE	M3	2,238,880.0	150.0	335,803,500.0
ACERO DE REFUERZO EN BLOQUE	KG	3,880.0	158.0	372,888,800.0
ANCLAS DE REFUERZO A TIERRA	M3	528,814.0	388.8	152,240,832.0
ESTRIBO No. 4				
CONCRETO CICLOSO FC=150 KGCM2 EN PLANTILLA	M3	647,808.0	178.0	113,678,008.0
CONCRETO FC=250 KGCM2 EN ESTRIBOS	M3	1,524,712.0	380.0	564,837,880.0
ACERO DE REFUERZO EN ZAR Y DENTELONES	KG	3,068.8	44,431.0	136,363,467.2
SUPERESTRUCTURA				
ACERO DE REFUERZO EN TIRANTES	KG	84,021.0	174,872.8	14,701,827,338.8
FABRICACION DE DOVELAS EXTERNAS	KG	3,568.0	1,738,548.8	6,186,827,884.0
FABRICACION DE DOVELAS METALICAS	KG	8,863.0	1,738,548.8	17,383,298,873.2
PLATE DE DOVELAS DE 18 (COMA)	KG	2,388.0	1,738,548.8	4,118,787,444.8
ACERO DE REFUERZO EN LOSAS TRAMO 1-2	KG	3,073.8	108,098.0	328,011,882.2
CONCRETO FC=300 KGCM2 EN LOSA TRAMO 1-2	M3	3,057,798.0	389.7	1,130,861,388.4
ACERO DE REFUERZO EN LOSA TRAMO 2-3	KG	3,073.8	207,187.0	636,787,882.8
CONCRETO FC=300 KGCM2 EN LOSA TRAMO 2-3	M3	3,057,798.0	720.0	2,201,814,880.0
ACERO DE REFUERZO EN LOSA TRAMO 3-4	KG	3,073.8	88,787.0	272,832,874.8
CONCRETO FC=300 KGCM2 EN LOSA TRAMO 3-4	M3	3,057,798.0	285.0	810,316,470.0

PLANO DE LOCALIZACION

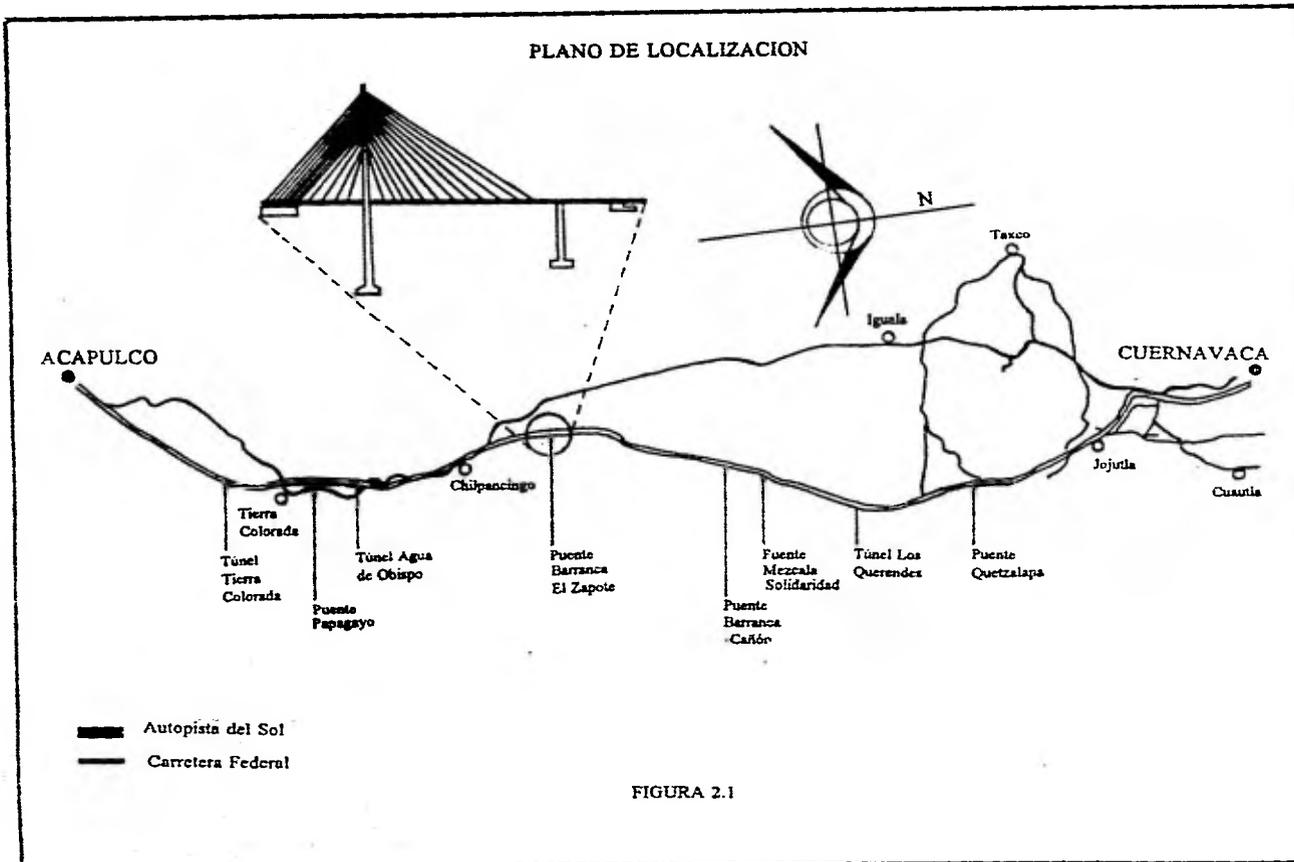
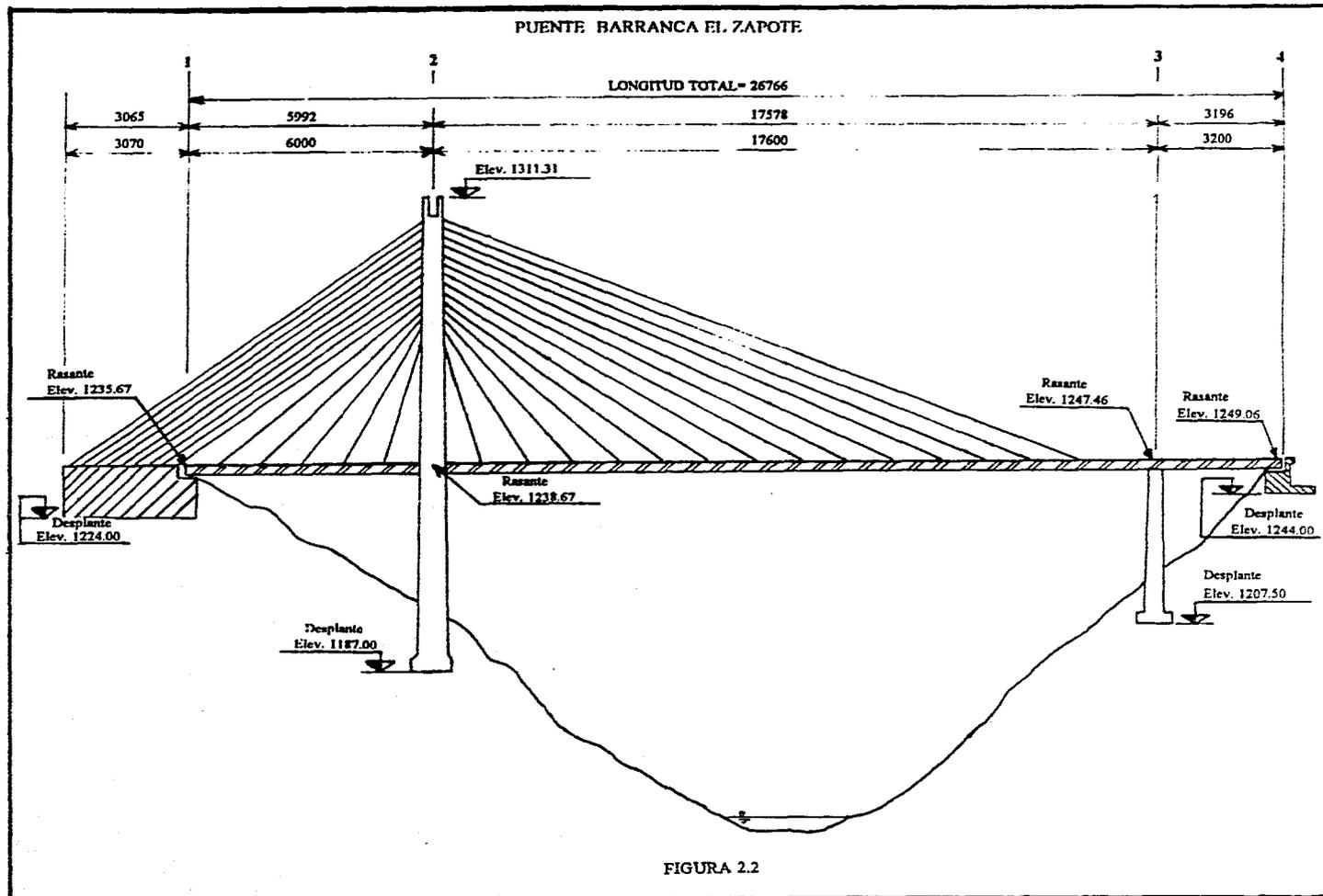


FIGURA 2.1



CAPITULO III :

PROCESO CONSTRUCTIVO DE PILAS Y PILONES

CAPITULO III : PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO
DE PILAS Y PILONES

3.1 INTRODUCCIÓN

Las pilas son los apoyos mas importantes de la estructura, ya que en ellas es soportada la superestructura, además también los pilones se encuentran soportados por la pila No.2. En estos pilones van alojados los tirantes, los cuales soportan la superestructura del claro principal.

3.2 PILA NO. 2

La altura total de la pila No. 2 es de 124.31 m., divididos en cuatro partes principales (Fig. 3.1):

ELEMENTO	DIMENSIONES (m)
Zapata	29 x 10 x 5
Cuerpo de pila	4.218 x 21.00 x 29.38
Cabezal	12.00 x 4.22 x 24.92 (Prom)
Pilones	75.43 x 3.00 x 3.70 (Prom)

3.2.1 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

En la construcción de esta pila se realizaron las siguientes

etapas de construcción:

- 1.- Levantamiento topográfico del terreno natural.
- 2.- Trazo y nivelación topográfica del terreno natural.
- 3.- Desmote y despalme.
- 4.- Excavación primaria.
- 5.- Retrazado y renivelación topográfica.
- 6.- Excavación para alojar la zapata de la pila.
- 7.- Construcción de plantilla y zapata de cimentación.
- 8.- Construcción del cuerpo de pila.
- 9.- Construcción del cabezal.
- 10.- Construcción de los pilones y riostra.

3.2.2 Desmote y despalme

El desmote y despalme consiste en despejar la vegetación existente en el área de construcción, con el objeto de evitar la presencia de material vegetal en la obra. Esta operación se realizó con la ayuda de un tractor.

3.2.3 Excavación.

Una vez realizados los trabajos de desmote y despalme, se procedió a realizar los trabajos de excavación, los cuales se llevaron a cabo a través de: Excavación primaria, que consiste en ir preparando la plataforma de trabajo, dejando taludes de corte a razón de 0.25:1.

Una vez realizada esta excavación primaria, se procedió a realizar las excavaciones para alojar la zapata de cimentación. Para poder llevar a cabo esta segunda etapa, fue necesaria la utilización de equipo mecánico, como son: Track-drills, para

realizar los trabajos de barrenación y así poder alojar en los barrenos los explosivos. El tipo de explosivo que se utilizó en este material fue el llamado Mexamón y Tovex, los cuales contienen un coeficiente de carga $Cc=250$ Gr/M³.

El volumen total de material excavado, fue de 14,000 M³. Una vez extraído este material con explosivos, se tuvo que desalojar de la zona de trabajos con la ayuda de un tractor y empujado únicamente hacia el talud de la barranca.

3.2.4 Construcción de la zapata

Una vez terminados los trabajos de excavación a nivel de proyecto, se procedió a colocar una plantilla de concreto ciclópeo de 50.00 cm. de espesor, esto con el fin de uniformizar los esfuerzos transmitidos por la zapata al terreno natural y además para que no se contamine el concreto de la zapata. La $f'c$ de este concreto ciclópeo fue de $f'c= 150$ Kg/cm².

Posteriormente se procedió al habilitado y armado del acero de refuerzo, este armado es convencional, en el cual se contaron con varillas de 1" y 1 1/2", separadas entre 20 y 30 centímetros. Para el armado se evitó que los traslapes se excedieran del 33% del total del acero en el mismo plano, (las normas de construcción nos indican que por ningún motivo se deben de traslapar más del 50% del total del acero por sección).

La primera etapa de colocación de concreto en el cuerpo de la zapata, se realizó sin la utilización de cimbra, ya que se utiliza como molde las mismas paredes de la excavación. En las siguientes dos etapas, ya fue necesario la utilización de cimbra convencional, para poderle dar forma a la zapata.

El concreto se transportó desde la planta dosificadora de concreto hasta el sitio de su colocación, por medio de ollas revolventoras con capacidad de 7.00 M3. El concreto fue vaciado directamente a su sitio de colocación definitivo a través de canalones de madera, evitando que la caída libre del concreto tuviera una altura mayor de 1.50 metros, y así poder evitar que el concreto se disgregara. Para la compactación del concreto, fue necesario utilizar vibradores de inmersión de dos pulgadas de diámetro.

Para verificar que el concreto cumpliera con las especificaciones del proyecto, fue necesario sacar pruebas de revenimiento y tomar muestras para ensayos en cilindros, y así poder realizar posteriormente la prueba de resistencia a la compresión.

El colado de la zapata se realizó en tres etapas, de tal forma que se tuvieron dos juntas constructivas en este elemento. Para poder evitar este efecto de junta fría, se tuvieron que realizar los siguientes trabajos: escarificar, limpiar con aire comprimido y además se le aplicó un aditivo para ligar concreto nuevo con viejo, y así poder asegurar una buena unión del concreto.

En la construcción de la zapata se utilizaron 65,000 Kg. de acero de refuerzo con $f_y=4000$ Kg/cm², 1330 M3 de concreto con una $f'_c=250$ Kg/cm², tamaño máximo del agregado de una pulgada y revenimientos de 6 a 8 centímetros.

3.2.5 Construcción del cuerpo de pila

A partir de la elevación 1192.00 hasta la elevación 1221.38,

el cuerpo de esta pila tiene una sección hueca de 21.00 m x 4.22 m, con un espesor de 35 centímetros, teniendo dos huecos de 10.00 m x 3.52 m cada uno, separados por un muro diafragma de 30 centímetros de espesor.

Para las actividades de armado, cimbrado y colado del cuerpo de pila, se contó con la ayuda de una grúa torre, la cual se fue anclando en cuanto la pila fue cobrando altura. Además se contó con la instalación de andamios y con un elevador para que el personal contara con un acceso al lugar de trabajo.

Las etapas de construcción del cuerpo de pila estuvo dividido en trece: 12 de 3.00 metros y una mas de 2.88 metros de altura.

Cimbrado.

En el proceso de colocación de concreto en cada etapa del cuerpo de pila, fue necesaria la utilización de una cimbra deslizante. Dicha cimbra procedía del país vecino de Norteamérica, con la cual se le dio la geometría requerida de proyecto a la estructura, y una mayor eficiencia en las operaciones de cimbrado y decimbrado. También fue necesaria la construcción de una plataforma hecha a base de madera, para que los obreros y técnicos contaran con el espacio suficiente para poder llevar a cabo los trabajos de armado del acero de refuerzo y la colocación de concreto.

Proceso de instalación de la cimbra

Condiciones iniciales.

- 1.- La junta de construcción se escarificó y limpió.

- 2.- El acero de refuerzo ya habilitado se izó con la grúa y se armó.

Proceso (Fig. 3.2)

- 1.- Se fijan los apoyos inferiores de la cimbra, a la etapa anterior del cuerpo de pila.
- 2.- Se izó el sistema de apoyo de la cimbra.
- 3.- Se izó el troquelado de la cimbra y una nivelación y plomeo preliminar.
- 4.- Con la ayuda de una brigada de topografía se realizó la nivelación, alineación y plomeo de la cimbra, conforme al proyecto
- 5.- Se descimbra y se eleva la cimbra a la siguiente etapa.

Colocación del concreto

En las primeras etapas de colocación de concreto en el cuerpo de pila, el concreto fue vaciado por gravedad hasta donde fue posible. Posteriormente fue necesaria la utilización de una bomba para concreto, la cual fue ubicada al pie de la pila; esto con el fin de facilitar la elevación del concreto a la altura requerida. Para poder llevar a cabo este trabajo, se contó con la ayuda de una manguera de 5 pulgadas de diámetro, la cual se fijó al cuerpo de pila.

Proceso de colocación del concreto

Condiciones iniciales.

- 1.- Se realizaron los siguientes trabajos de verificación:
armado del acero de refuerzo, que estuviese de acuerdo a

proyecto; fijación y limpieza de cimbra; limpieza general de la zona donde se realizarían los trabajos de colocación del concreto; equipo necesario para su correcta ejecución, como serían los siguientes: bomba, vibradores, tubería de conducción limpia y en funcionamiento, equipo de transporte del concreto y grúa torre, como opción en caso de falla de la bomba; personal suficiente y adecuado; laboratorio presente; aplicación del aditivo para ligar el concreto viejo con nuevo.

Procedimiento.

- 1.- Se recibió el concreto en el sitio de colado, se verificó el revenimiento requerido en el proyecto y se sacaron muestras para los cilindros; posteriormente se le agregó un aditivo fluidificante en función del revenimiento requerido para su bombeo.
- 2.- Se inicia el bombeo y la colocación del concreto hidráulico, realizándolo en capas con espesor aproximado de 60 cm.; inmediatamente se procede a compactarlo con la ayuda de vibradores de inmersión de 2 pulgadas de diámetro, que se introducen a cada 40 centímetros de distancia uno de otro. Este proceso se repitió hasta completar el llenado de la cimbra, procurando que los vibradores entraran por lo menos un tercio del espesor de la capa anterior.
- 3.- Una vez terminada la etapa dos se procedió a limpiar el equipo de colado, la zona y el acero de refuerzo de la etapa siguiente.

En la construcción del cuerpo de pila se utilizaron 133,000 Kg. de acero de refuerzo, con $f_y = 4000 \text{ Kg/cm}^2$ y 630 M3 de concreto hidráulico, con una $f'_c = 300 \text{ Kg/cm}^2$, tamaño máximo del agregado es de 3/4" y revenimientos de 4 a 6 centímetros.

3.2.6 Construcción del cabezal

En la elevación 1221.38 comienza la zona transición, desde este nivel hasta la elevación 1233.38, la sección de la pila aumenta de tamaño hacia los lados, variando de 4.22 m x 21.00 m a 4.22 m x 28.834 m. La sección sigue siendo hueca y estos huecos tienen las mismas dimensiones que tenían en el cuerpo de pila.

La sección maciza es presforzada, y en ella se utilizaron 10 cables de presfuerzo con 10 torones de 15.00 mm de diámetro cada uno, tensados a 400 toneladas. El presfuerzo es del tipo postensado, por lo tanto se dejaron ahogados en el concreto dentro de ductos flexibles donde fueron alojados los cables (Fig. 3.3).

Los torones son de acero tipo A-416, grado 270 con resistencia a la ruptura de 19,000 Kg/cm². Cada torón consta de siete alambres, uno de diámetro ligeramente mayor a los otros seis y se encuentra alojado en el centro de los otros, los cuales van distribuidos helicoidalmente alrededor del que va al centro. El anclaje en los extremos, se realizó con una placa de acero con perforaciones cónicas, en donde son insertados los cables que además se anclan por medio de cuñas que los amordazan.

Para la colocación del concreto hidráulico en el cabezal, éste se llevó a cabo a través de cuatro etapas, tres con una altura de 3.00 metros cada una y una mas de 2.50 metros de

altura.

Cimbra

El procedimiento que se llevó a cabo para la colocación de la cimbra y la colocación del concreto hidráulico en el cabezal, fue muy similar al empleado en el cuerpo de pila, pero con la variante que aquí se ampliaron los costados de la sección. Aquí también se contó con la ayuda de la torre grúa, para el izaje del acero de refuerzo, y además para elevar también el concreto con la ayuda de bachas.

Colocación de cables de presfuerzo

Antes de iniciar la colocación del concreto hidráulico en la parte maciza del cabezal, se procedió a la colocación de los ductos flexibles, en los cuales se alojarían los cables de presfuerzo y las placas de anclaje de los mismos, y así poder quedar ahogados dentro del concreto hidráulico (Fig. 3.3).

Estos cables fueron tensados con una fuerza de 400 toneladas. Para poder llevar a cabo esta tensión se contó con la ayuda de un gato hidráulico. El procedimiento fue el siguiente: en ambos extremos del cuerpo del cabezal, previamente se insertaron las cuñas y a lo largo del cuerpo se colocaron los ductos; por estos ductos fueron introducidos por un extremo los torones. Una vez realizada esta operación uno de los extremos de los torones fue fijada a la placa y por el otro fue conectado el gato. Con la ayuda del gato se le aplicó una fuerza de tensión e inmediatamente se golpearon para que entraran lo mejor posible. Una vez retirado el gato, las cuñas se introdujeron aun mas al

cuerpo del cabezal, este fenómeno se produjo debido a la fuerza de tensión que están ejerciendo los torones.

Proceso de tensado.

- 1.- Se tensaron los cables C-3 y C-8, al terminar la construcción del cabezal.
- 2.- Se tensan los cables C-2, C-4, C-7 y C-9, cuando se terminó la construcción total del pilón.
- 3.- Se tensaron los cables C-1, C-5, C-6 y C-10, cuando se terminaron de tensar los tirantes 7-t y 7-a.

Los cables tienen un anclaje pasivo y otro activo, por lo tanto el tensado se realizó en forma alternada, es decir, cinco por un extremo y cinco por el otro extremo.

En la construcción del cabezal se utilizaron 107,000 kilogramos de acero de refuerzo corrugado con $F_y=4000$ Kg/cm², 3,705 kilogramos de acero de presfuerzo con $LR=19,000$ Kg/cm², 760 M3 de concreto hidráulico con $f'_c= 300$ Kg/cm², tamaño máximo del agregado de 3/4 de pulgadas y revenimientos de 6 a 8 centímetros.

3.3 CONSTRUCCION DE PILONES

Los elementos que inician a partir del cabezal hacia arriba son conocidos con el nombre de pilón o mástil. En nuestra estructura contamos con un solo pilón y es del tipo "H".

Los pilones tienen una inclinación de 4.66° , con respecto a la vertical, esta inclinación se inicia a partir de la elevación 1235.88 hasta la elevación 1282.63, donde ya los

elementos que conforman el cuerpo del pilón, continúan verticales hasta terminar en la elevación 1311.31. Entre las elevaciones 1235.88 y 1239.32, se cuenta con una sección maciza que varía en sus dimensiones de 3.00 m x 4.12 m a 3.00 m x 4.08 m; entre las elevaciones 1239.32 y 1307.81, se cuenta con una sección hueca y varía en sus dimensiones de 3.00 m x 4.08 m a 3.00 m a 2.50 m, con un espesor de pared de 0.50 metros (Fig. 3.1).

Los pilones se encuentran ligados por medio de una riostra, cuyas dimensiones son las siguientes: 2.00 metros de ancho y 5.00 metros de peralte. El eje longitudinal de la riostra se encuentra en la elevación 1285.13.

A partir de la riostra comienza la zona de anclajes de los tirantes. Estos tirantes se anclan en el interior de los pilones por medio del tubo cañón, los cuales van ahogados en una losa de concreto presforzado con espesor de 30 centímetros. En cada losa se anclan dos tirantes, uno en el claro 1-2 y otro en el claro 2-3 (Fig.3.4).

El presfuerzo se realizó en ambos sentidos, con barras de acero de 32 y 36 metros de diámetro, tensadas a una fuerza de 60 y 75 toneladas respectivamente, estas barras fueron ancladas por medio de una tuerca contra una placa de apoyo ahogada en el concreto.

Para poder tener acceso al interior de los pilones, y así poder hacer las maniobras de anclaje de los tirantes, se colocó un paso hombre de 0.80 metros de diámetro. Dicho acceso se aloja en donde inicia la zona de anclajes de los tirantes, y este acceso está constituido por medio de una escalera de caracol con pisos de rejilla intermedios, y en la parte restante está

complementada por medio de una escalera marina, que pasa por los huecos que hay en las losas de anclaje.

Construcción

La realización de la construcción de los pilones, se llevó a cabo a través de 31 etapas de colocación de concreto, con una altura por etapa de 2.50 metros.

Para proporcionar un acceso al personal y así ahorrar tiempo y esfuerzo, se contó con la instalación de un elevador desde la base de la pila hasta el nivel del cabezal terminado.

Tubo cañón

- 1.- Se habilitó y armó el acero de refuerzo en esta etapa.
- 2.- Se habilitó el tubo cañón, al pie de la pila.
- 3.- Se dejan ahogadas en el colado anterior, las placas para sujetar las escuadras que posteriormente habrán de soportar el tubo cañón.

Procedimiento

- 1.- Se colocaron las escuadras de sujeción, para el tubo cañón en las placas previamente ahogadas.
- 2.- Con el apoyo de una brigada de topografía, se marcan los niveles y el eje del tubo, sobre el acero de refuerzo para cortarlo y permitir el paso del tubo.
- 3.- Con la ayuda de la Grúa Torre se izó el tubo cañón, guiándolo a través del acero de refuerzo, previamente cortado, hasta apoyarlo sobre las escuadras de sujeción.
- 4.- Mediante dos diferenciales de 1 1/2 toneladas fijos al acero

de refuerzo, se sujetó el tubo cañón para liberar a la Grúa Torre y continuar con la maniobra de colocación del tubo cañón.

- 5.- Con la ayuda de la brigada topográfica, se realizó la maniobra para liberar el tubo cañón de la parte inferior, auxiliándose con los diferenciales. Una vez colocada en su posición correcta, se calzó y sujetó con la ayuda de soldadura a la escuadra de apoyo.
- 6.- El acero de refuerzo que se tuvo que cortar, para poder realizar las maniobras, se repuso con cuatro varillas longitudinales y un zuncho de acero de refuerzo adicional.

cimbra

Para la construcción de los pilones y darle cuerpo y forma a estos, se utilizó cimbra convencional de madera, debido principalmente a que la sección de estos es variable, así como dada su inclinación tendiente a converger de los mismos. La cimbra interior, permaneció en la estructura hasta que se colocaron las dos etapas posteriores. Y la cimbra exterior se fue rehabilitando para cada etapa de colado, de acuerdo a las especificaciones del proyecto.

Condición inicial

- 1.- La junta de construcción se escarificó y limpió.
- 2.- El acero de refuerzo, ya habilitado, fue izado con la ayuda de la grúa y además se armó y limpió.

Procedimiento.

- 1.- Con ayuda de la Grúa Torre, se izaron los tableros exteriores de la cimbra hasta la etapa correspondiente.
- 2.- Se colocaron los separadores y tensores de troquelamiento, cajetines para las barras de presfuerzo y todos los elementos empotrados como: placa de anclaje y escuadras de apoyo para el tubo cañón.
- 3.- Con la ayuda de la grúa torre, se izaron los tableros interiores de la cimbra, hasta la etapa correspondiente.
- 4.- Se procedió a troquelar la cimbra, y se realizó una nivelación y plomeo preliminar.
- 5.- Con la ayuda de la brigada topográfica, se procedió a la nivelación, alineación y plomeo de la cimbra.
- 6.- Se cimbró el fondo de la losa, además de que se procedió a la colocación del acero de refuerzo, dejando colocados los ductos para las barras de presfuerzo.

Concreto

El concreto que fue utilizado para la fabricación del cuerpo de los pilones, fue transportado igualmente que en el cuerpo de pila, con la ayuda de la bomba para concreto, y con la ayuda de la Grúa Torre, a la cual se le adaptó una bacha para concreto.

La forma de colocación del concreto, fue siguiendo los mismos pasos que se utilizaron en el cuerpo de pila y en el cuerpo del cabezal.

Barras de presfuerzo.

El tensado de las barras de presfuerzo, en las losas de

anclaje de los pilones, se realizó en forma similar al tensado de los cables, en el cabezal; utilizando un gato hidráulico, con la única variante que aquí se realizó el apretado de los cables con la ayuda de las tuercas.

En los procedimientos anteriores, que se refieren a las etapas de construcción del pilón en la zona de anclajes de los tirantes, donde se colocaron tubos cañón y barras de presfuerzo, el proceso constructivo fue diferente al empleado en el cuerpo de pila. Pero en las demás etapas del cuerpo de los pilones, el procedimiento de cimbrado, armado y colocación del concreto hidráulico, es muy similar al empleado en el cuerpo de pila.

3.3.1 RIOSTRA

Para la fabricación de la riostra, fue necesario colocar tornapuntas, para que estas ayudaran en la sustentación de la cimbra, y así poder garantizar, que los cuerpos de los pilones no sufrirían deformaciones, durante la colocación del concreto hidráulico.

Tornapuntas

Condiciones iniciales.

- 1.- Se colaron los pilones, hasta la elevación 1280.64.
- 2.- Se verificó con la ayuda de una brigada topográfica la inclinación del cuerpo de los pilones con respecto a la vertical.

Procedimiento.

- 1.- Se verificó la dimensión de los pilones.
- 2.- Se utilizó tubo de acero de 8" de diámetro, se realizó el corte, conformado y soldados de los elementos que conforman la torna punta.
- 3.- Se transportan los elementos desde el patio de armado hasta el pie de pila.
- 4.- Con la ayuda de la brigada de topografía, se realizan los marcajes de los ejes y niveles de los puntos, donde se colocaría la tornapunta.
- 5.- Con la ayuda de la Grúa Torre, se izaron y colocaron los yugos con ménsulas, para el apoyo de la tornapunta.
- 6.- Una vez realizada la colocación de los yugos en su posición, se procedió al izaje y montaje de la tornapunta.
- 7.- Finalmente se procedió, a la colocación de una cuña de acero como base para la colocación de un gato hidráulico, para ajustar a la longitud de la riostra especificada en el proyecto.

Obra falsa y cimbra.

Procedimiento.

- 1.- Se colocaron los yugos de soporte para la obra falsa.
- 2.- Se izaron las vigas de acero que constituyeron la obra falsa y se colocaron sobre los yugos.
- 3.- Se colocaron los pies derechos, para dar altura del fondo de la riostra.
- 4.- Se colocó la cimbra, en la base de la riostra.

- 5.- Se habilitó y armó el acero de refuerzo, de acuerdo a las especificaciones del proyecto.
- 6.- Se colocó la cimbra perimetral, de la primera etapa.
- 7.- Se procedió a la colocación del concreto hidráulico.
- 8.- Después del colado de la primera etapa, se repite el ciclo, para la siguiente etapa.

3.4 PILA No. 3

La pila número tres tiene una altura total de 36.69 metros; está constituida por dos cuerpos cimentados, cada uno, en una zapata que tienen las siguientes dimensiones, cada una: 9.00 m de largo, 8.00 metros de ancho y 2.75 metros de altura. Además están ancladas al terreno natural por medio de 12 anclas, las cuales constan de 7 torones de 13 mm de diámetro cada uno.

Los cuerpos tienen una inclinación, con respecto a la vertical, de 2.3° y su sección transversal es hueca, con espesores de pares de 0.40 metros, ancho de 2.50 metros y un largo que varía de 3.07 metros a 2.50 metros. En la parte superior, los cuerpos de esta pila, están unidos por medio de una viga maciza llamada riostra, que tiene las siguientes dimensiones: 2.50 m x 2.50 m x 18.20 m (Fig. 3.5)

Para llevar a cabo la construcción de ambos cuerpos, estos se realizaron simultáneamente, y su proceso constructivo se llevó a cabo a través de las siguientes etapas:

3.4.1 Cimentación

La cimentación de ambos cuerpos, están constituidas por una zapata para cada uno, con las siguientes dimensiones: 8.00 m x 9.00 m x 2.75 m cada una, siendo constantes estas dimensiones en toda su sección.

Ambas zapatas se desplantan en la elevación 1207.50 metros, sobre una plantilla de concreto simple con $f'c = 150 \text{ Kg/cm}^2$. Dicha plantilla tiene un espesor de 0.70 metros.

Para la excavación del lugar donde se alojarían las zapatas, estas se llevaron a cabo, con el mismo procedimiento que se llevó para la excavación de la zapata de la pila No. 2, es decir, con la utilización de explosivos, y utilizando el mismo equipo mecánico para la excavación y desalojo del material

El proceso constructivo de las zapatas fue el mismo que se utilizó en la zapata de la pila No. 2.

3.4.2 Cuerpo de pila.

Para llevar a cabo la construcción de los cuerpos de la pila, esta se realizó a través de 11 etapas de colocación de concreto armado, 10 etapas con tres metros de altura y una de 1.43 metros.

Para los procesos que se llevaron a cabo de cimbrado, armado y colado, estos fueron los mismos que se emplearon, para la construcción del cuerpo de la pila No.2.

La construcción de los cuerpos de la pila No. 3 iniciaron en la elevación 1210.25 y terminan en la elevación 1241.689. Los cuerpos de esta pila tienen una sección hueca que varía de 2.50

m. x 3.07 m. a 2.50 m. x 2.50 m., con un espesor de pared en los cuatro lados de 0.40 metros.

3.4.3 Construcción de la riostra

Para la construcción de la riostra y en particular para la colocación de la cimbra, que soportaría el concreto armado, fue necesario el uso de una obra falsa, sostenida con barras de presfuerzo, para soportar el peso del concreto que se colocaría en el cuerpo de la viga.

Los demás procesos constructivos que se llevaron a cabo, para la fabricación de la riostra, como son; habilitado y armado del acero de refuerzo, colocación del concreto y el uso de aditivos, fue el mismo que se realizó en la construcción del cabezal.

La construcción de la riostra, inicia en la elevación 1241.689 y termina en la elevación 1244.189. Las dimensiones de la riostra son de 2.50 metros por 2.50 metros, en toda su longitud.

3.5 ESTRIBOS No.1 Y No.4.

Los estribos No. 1 y No. 4 tienen como finalidad principal, unir a la estructura con el terreno natural.

El estribo No. 1 es un cajón hueco, cuyas dimensiones son de 30.65 m x 25.30 m x 11.61 m. Está constituido por una losa de cimentación, una losa superior, muros perimetrales, muros intermedios en el sentido longitudinal y vigas diafragmas en el sentido transversal. La característica principal de este estribo,

es que, proporciona soporte y anclaje a los tirantes por el lado tierra (Fig. 3.6).

El estribo No. 4, está constituido por una zapata de cimentación de 1.00 metros de altura, a la cual se le une el cabezal, donde se apoyan las vigas de la superestructura, ambos tienen la misma longitud que el ancho de corona. El cabezal queda limitado por dos topes laterales, y en la parte posterior, en sentido transversal al eje de trazo, por un muro diafragma. Unido perpendicularmente a cada extremo del muro diafragma, se encuentran unos muros llamados aleros. En la parte inferior de cada tope lateral se forma un dentellón (Fig.3.7).

3.5.1. Procedimiento constructivo del estribo No.1

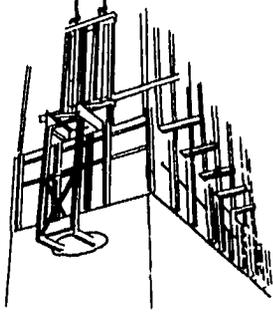
- 1.- Levantamiento topográfico del terreno natural.
- 2.- Trazo y nivelación topográfica del terreno natural.
- 3.- Excavación primaria, para realizar una plataforma de trabajo.
- 4.- Retrazado y renivelación topográfica.
- 5.- Excavación, para alojar la losa de cimentación.
- 6.- Construcción de la losa de cimentación.
- 7.- Construcción de muros y vigas.
- 8.- Construcción de losa superior.

3.5.2 Procedimiento constructivo de estribo No.4

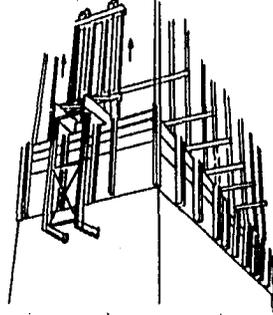
- 1.- Levantamiento topográfico del terreno natural.
- 2.- Trazo y nivelación topográfica, sobre el terreno natural y referencias.
- 3.- Excavación primaria, para realizar una plataforma de trabajo.

- 4.- Retrazado y renivelación topográfica.
- 5.- Excavación para alojar la zapata de cimentación.
- 6.- Construcción de la zapata.
- 7.- Construcción del cabezal.

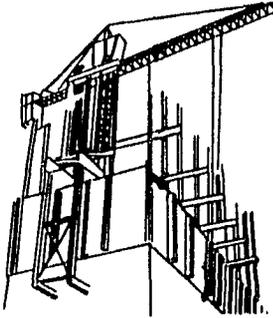
ETAPAS DE CIMBRADO



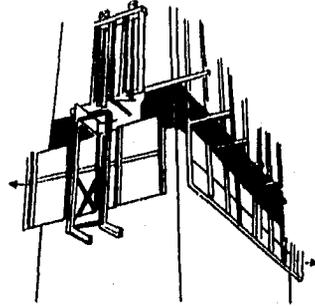
1. FIJACION DE APOYOS INFERIORES A LA PILA



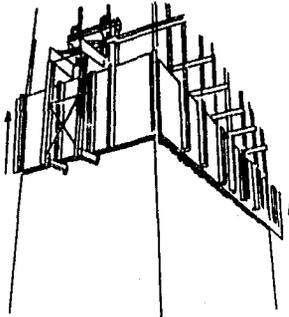
2. IZAJES DEL SISTEMA DE APOYO



3. TROQUELADO, ALINEAMIENTO Y COLADO



4. DESCIMBRADO



5. ELEVACION DE LA CIMBRA

FIGURA 3.2

PREESFUERZO EN CABEZAL

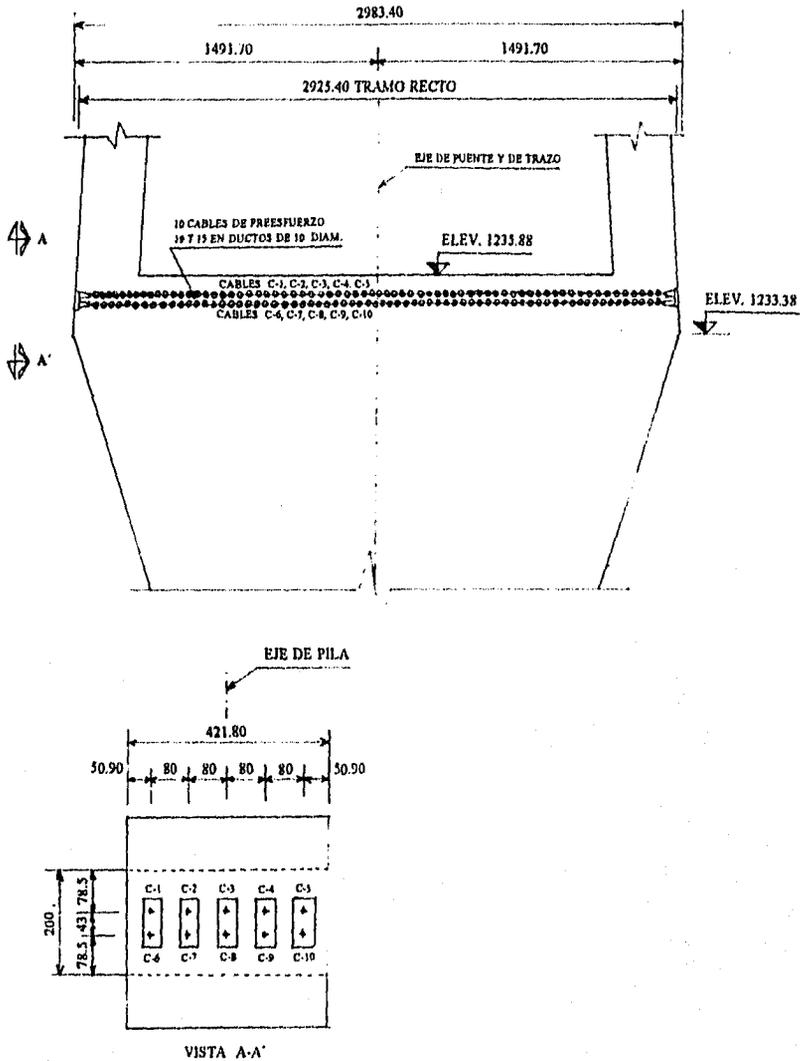
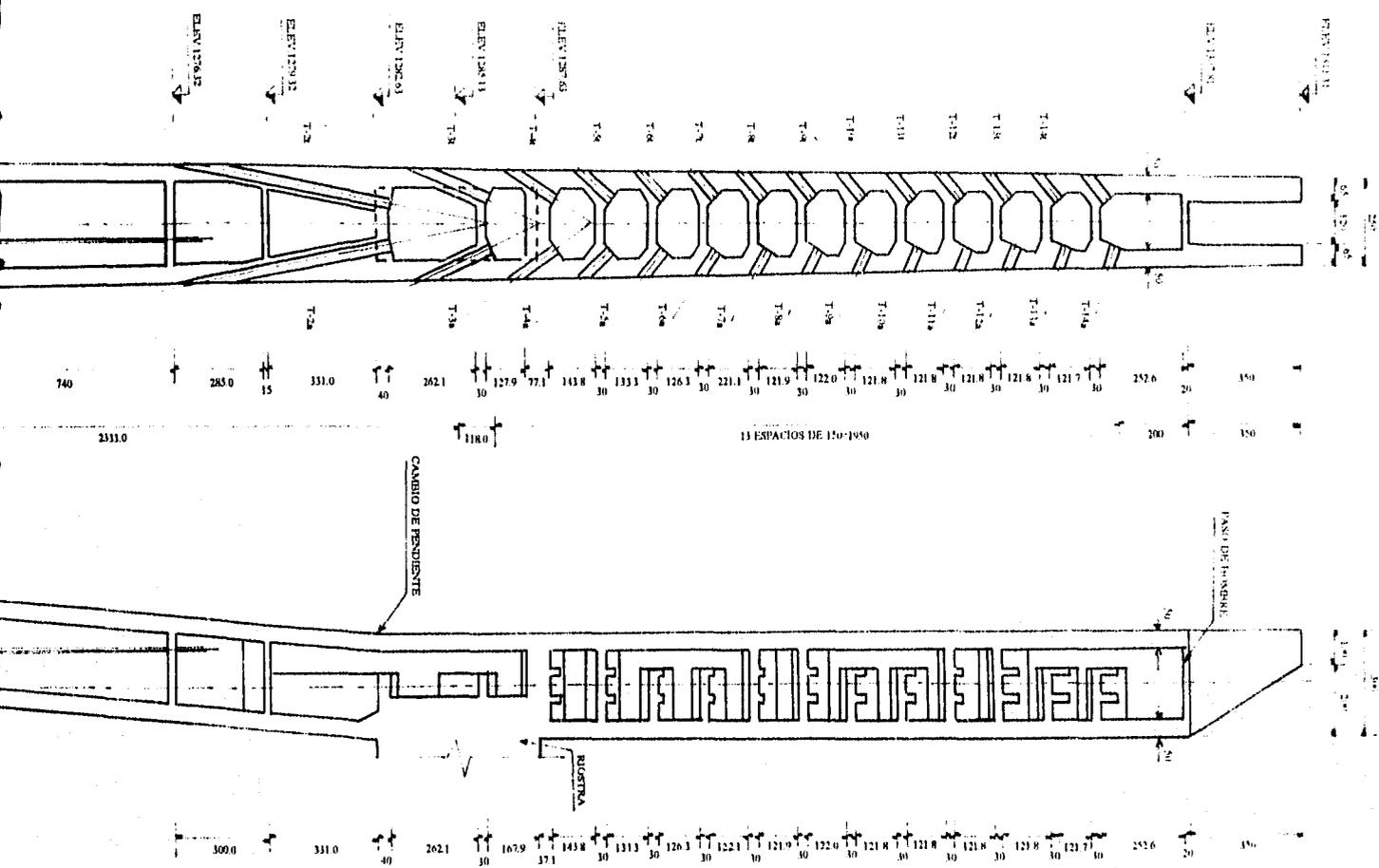


FIGURA 3.3

PILON No 2



PILA No. 3

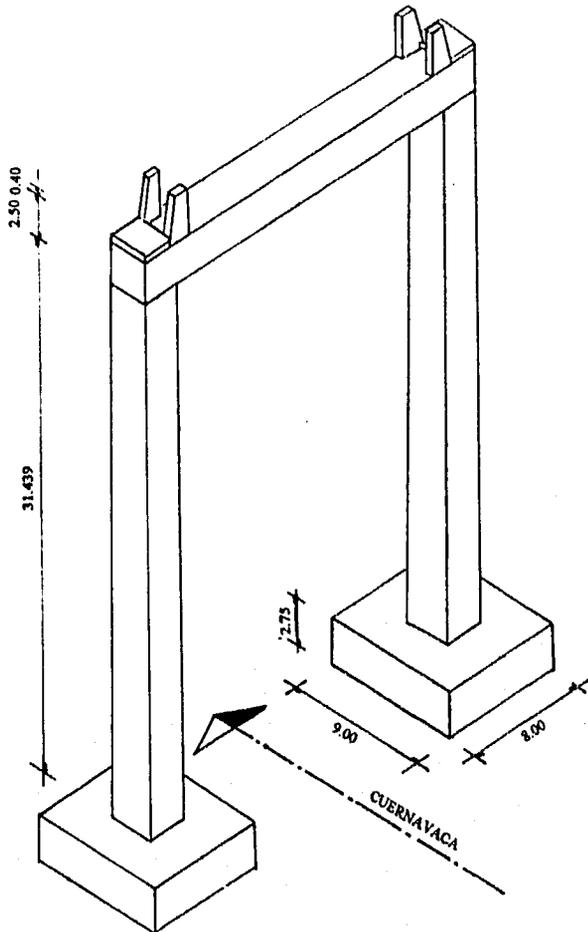


FIGURA 3.5

ESTRIBO No. 1

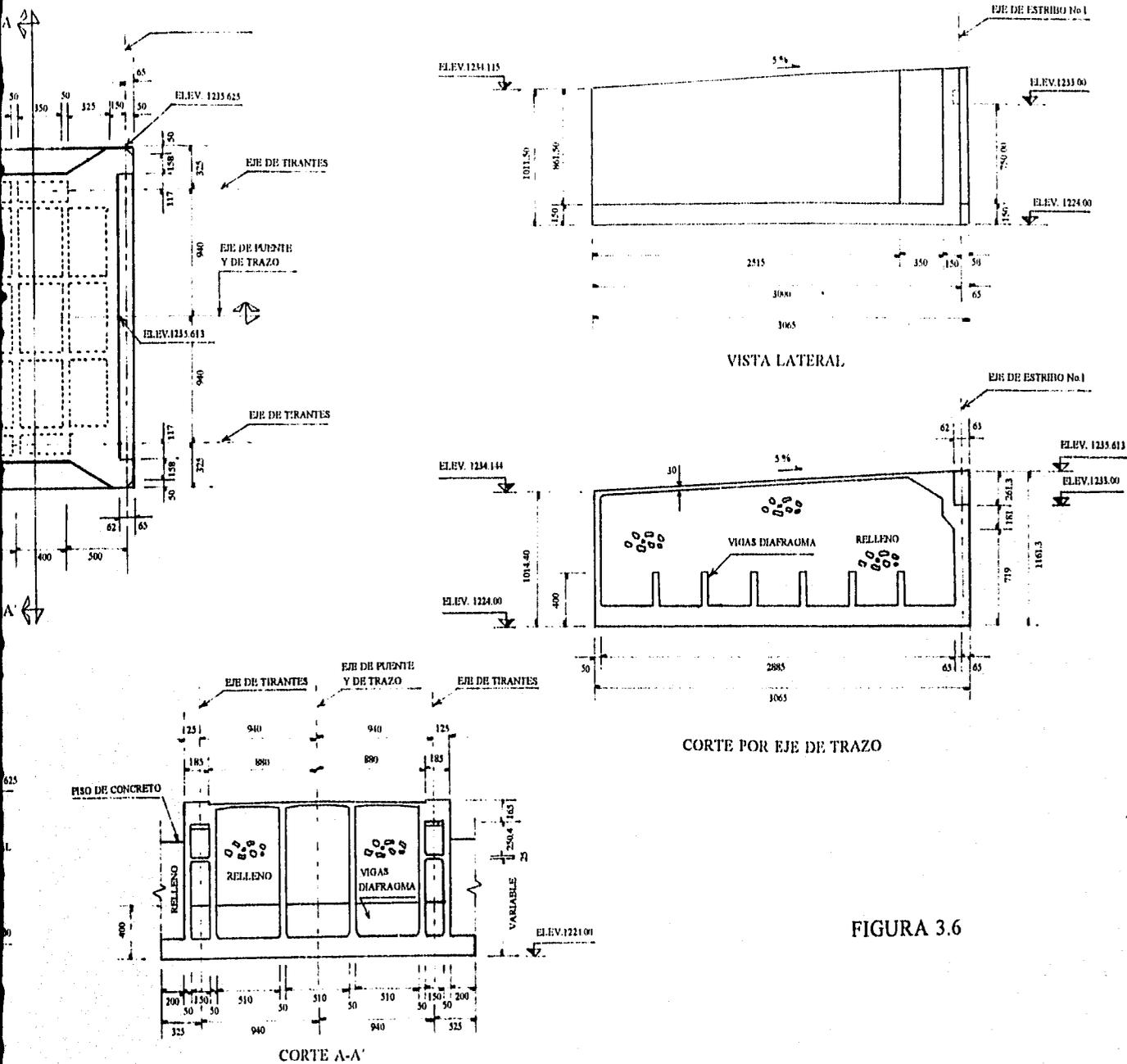


FIGURA 3.6

ESTRIBO No. 4

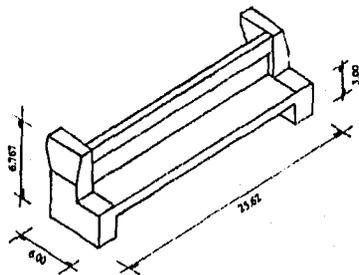
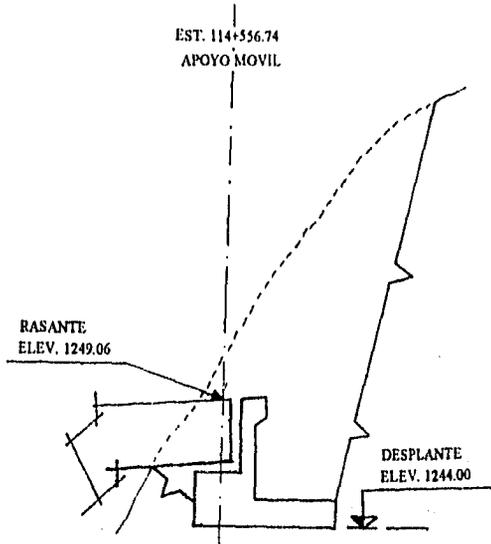


FIGURA 3.7



FOTO No. 3.1.- Excavación al 100 %, para alojar cimentación de Pila No. 2.

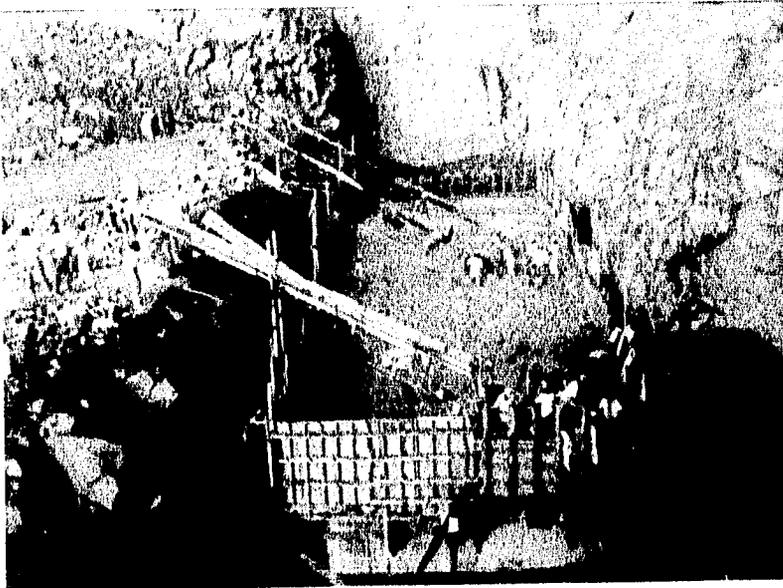


FOTO No. 3.2.- Colocación de concreto en zapata de cimentación de pila No. 2.

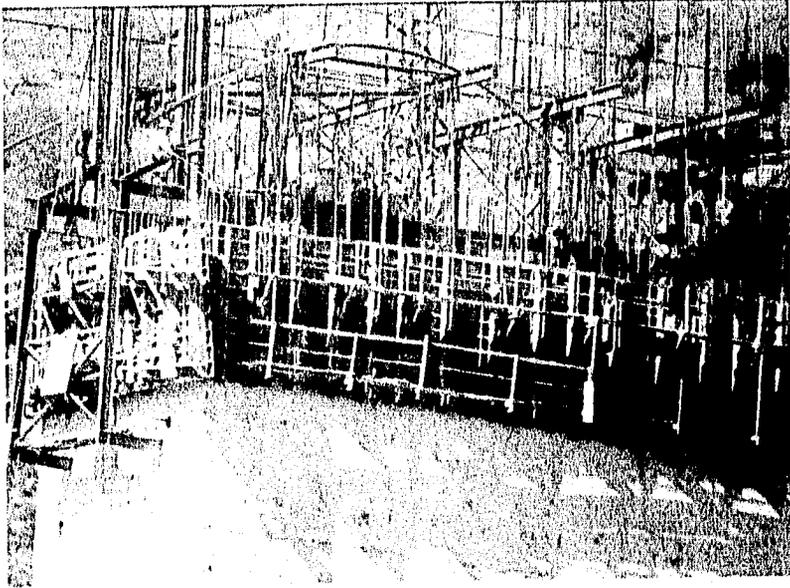


FOTO No. 3.3.- Detalle de la utilización de la cimbra deslizante, en el proceso constructivo del cuerpo de Pila No. 2.

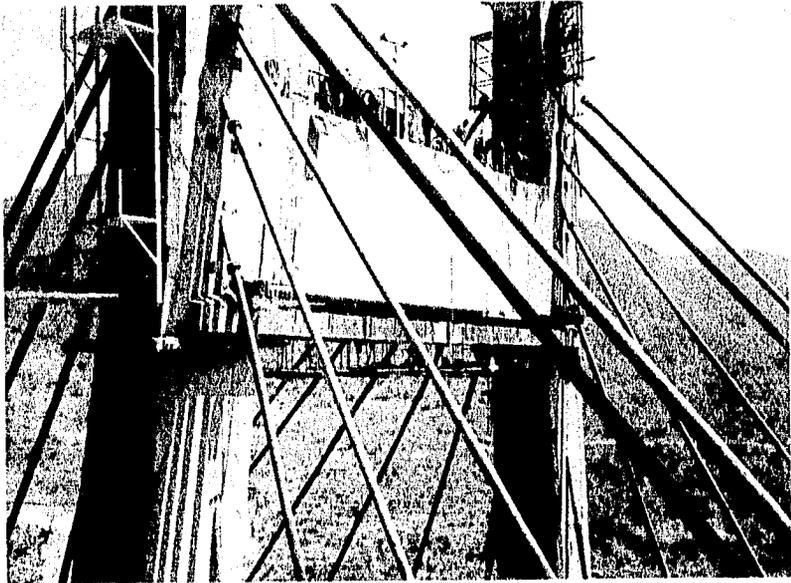


FOTO No. 3.4.- Vista general de Riostra en pila No. 2.

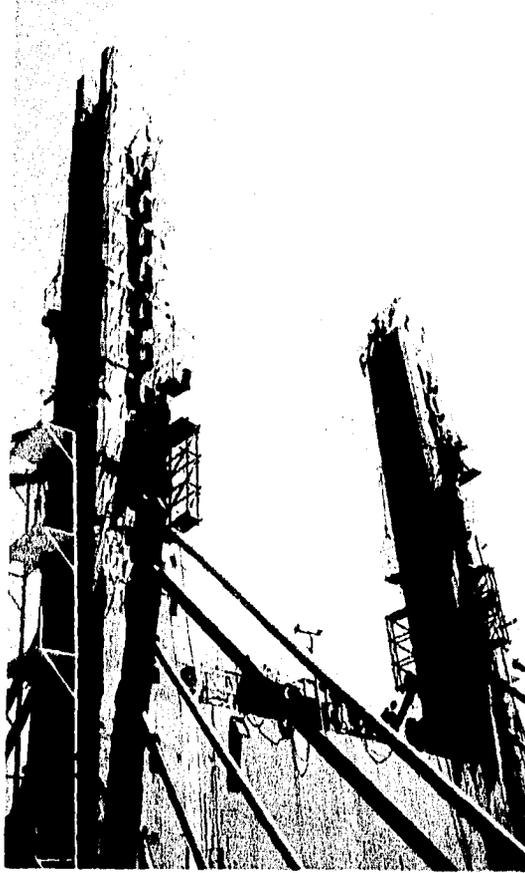


FOTO No. 3.5.- Vista general de los pilones y tubos cañón.

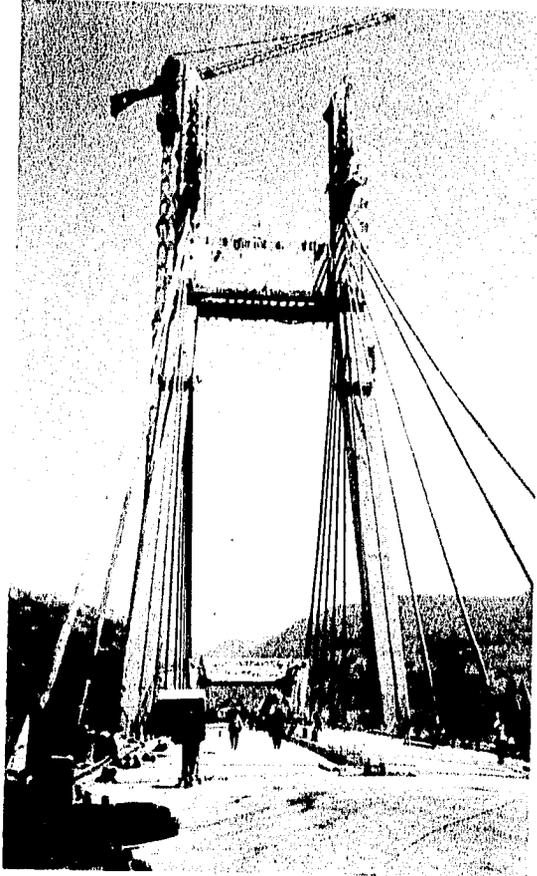


FOTO No. 3.6.- Vista general de los pilones.



FOTO No. 3.7.- Vista general de excavación y armado del acero de refuerzo en
Pila No. 3.

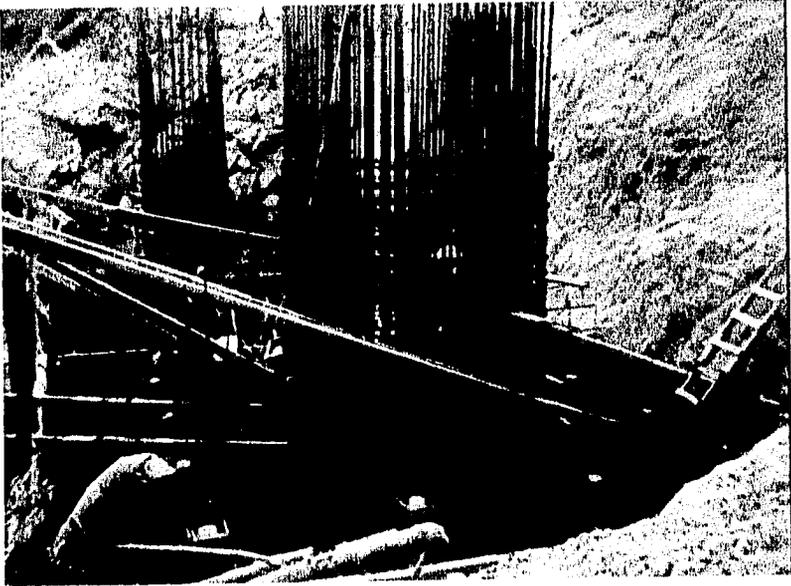


FOTO No. 3.8.- Armado del acero de refuerzo en zapatas y columnas y colocación de cimbra en Pila No. 3.

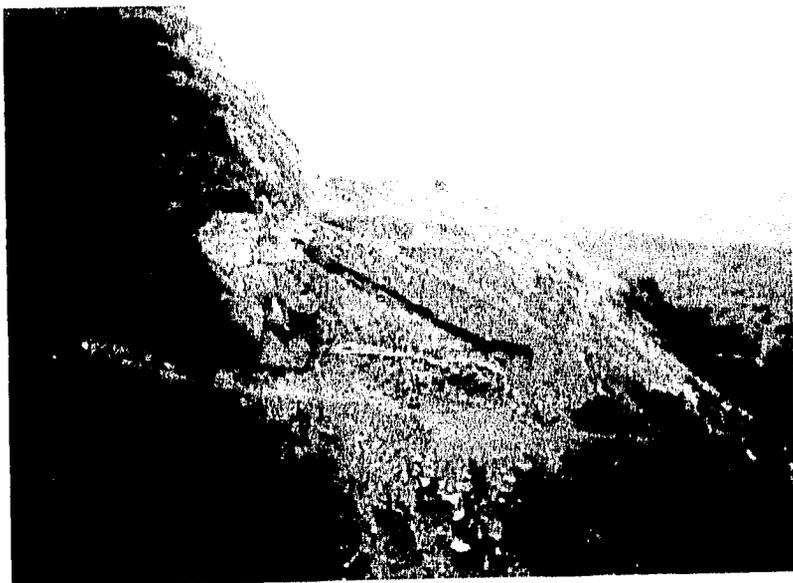


FOTO No. 3.9.- Vista general de excavación, para alojar el estribo No. 1
y plataforma de lanzado en claro 1-2.



FOTO No. 3.10.- Vista general de excavación para alojar estribo No. 4 y
plataforma de lanzado del claro 3-4.

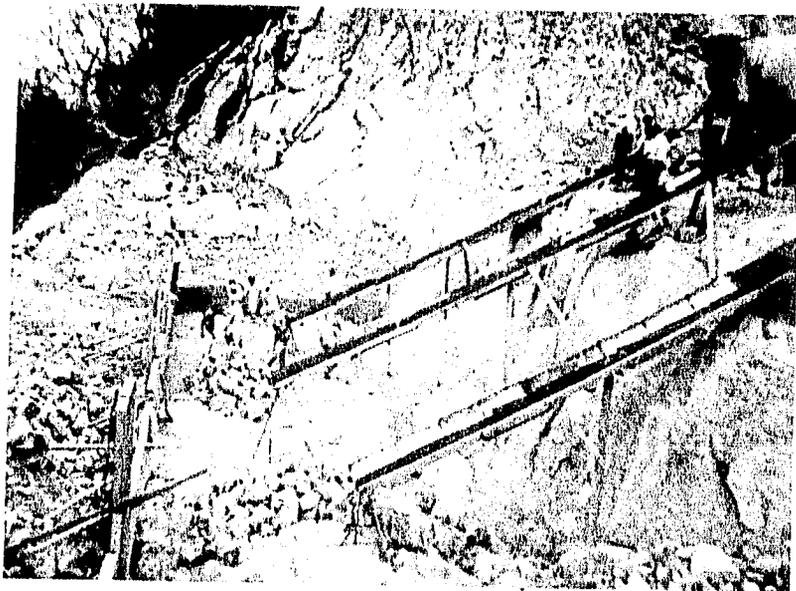


FOTO No. 3.11.- Vista general de excavación y colocación de cimbra y canalones para el vaciado del concreto, para plantilla del estribo No. 4.

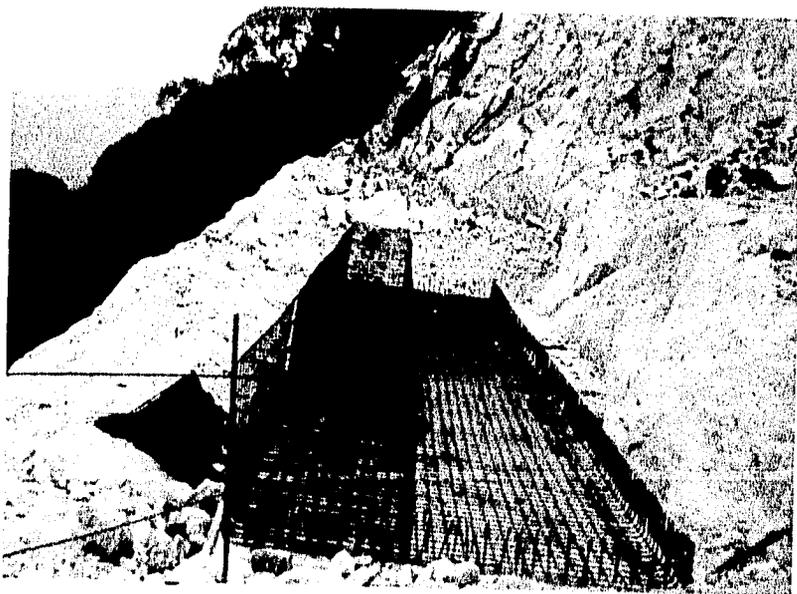


FOTO No. 3.12.- Detalle de armado del acero de refuerzo en Estribo No. 4.

CAPITULO IV : SUPERESTRUCTURA

CAPITULO IV : SUPERESTRUCTURA

4.1 INTRODUCCIÓN

La superestructura, está constituida por los elementos que soportan la superficie de rodamiento. Esta superestructura consta de 13 tramos incluyendo el de cierre. Los tramos del 4 al 9 son de 24 metros de longitud y cada uno está compuesto por dos dovelas de 12.00 metros. El tramo de cierre tiene una longitud de 1.00 metro. Los demás tramos tienen las siguientes longitudes:

Tramo	Longitud
1	25.40 m.
2	24.20 m.
3	24.80 m.
10	11.00 m.
11	16.80 m.
12	22.15 m.

Las dovelas de 12.00 metros, están compuestas por dos travesaños longitudinales y tres vigas puente, de acero estructural A-36 en sección "I". El peso promedio de estas dovelas es de 67.00 toneladas, y cuentan con un tubo cañón a cada lado, que es utilizado para poder anclar los tirantes.

Los tramos 1,2,3,11 y 12, fueron soldados, mientras que los tramos restantes, fueron unidos con placas de acero y

atornillados. Debido a esto se tuvieron 15 juntas atornilladas entre dovelas.

En el tramo número uno, se realizó un refuerzo adicional, con vigas intermedias y diagonales.

El sistema de piso que se utilizó, está conformado por canales Mon-ten (losacero), colocados entre las piezas de la superestructura, los cuales son utilizados como obra falsa ahogada en la losa de concreto armado, cuyo espesor de losa es de 0.23 metros. Como conectores de cortante entre la losa y las vigas de acero, fueron utilizados pernos Nelson, soldados a lo largo de todos los patines superiores (Fig. 4.1).

El atirantamiento del puente está formado por una serie de tirantes, que a su vez, están contruidos por torones. El número de torones, contenidos en cada tirante, depende principalmente de la longitud y de la magnitud de la tensión que se aplica a cada tirante.

La estructura cuenta con 56 tirantes, de los cuales su distribución es la siguiente: 28 van anclados a cada pilón, formando un total de 14 pares.

4.2 FABRICACION Y TRANSPORTE DE LAS DOVELAS

Las piezas para las dovelas, se fabricaron fuera de obra. Dichas piezas fueron fabricadas en los talleres de "Industrias del Hierro", ubicada en la Ciudad de Querétaro, Qro., donde se contaba con el equipo y la tecnología requerida para su medición, corte y soldadura. Esta empresa garantizó una buena calidad y un correcto funcionamiento de la estructura.

Las piezas puente o vigas transversales son de sección tipo, excepto las vigas que se apoyan en la pila No.2 y en los estribos No.1 y No.4 (Fig. 4.2).

Tanto las traves longitudinales como las piezas puente, cuentan con rigidizadores verticales y horizontales.

La sección tipo tiene un peralte de 1,906 mm en los extremos y una pendiente del 2% en el patín superior, esto se hace con el fin de dar bombeo a la calzada, lo cual produce un peralte en el centro de 2,108 mm, el patín inferior tiene un espesor de 32 mm y el superior de 22 mm, ambos de 600 mm de ancho, el espesor del alma es constante a razón de 25 mm, en algunas piezas; pero en la mayoría es de 16 mm, variando en los extremos de 19 mm a 25 mm.

Las traves longitudinales tienen un peralte de 1,906 mm en toda su longitud, el espesor del alma es de 16 mm y varían en las juntas atornilladas a 22 mm. En las zonas de anclajes de los tirantes, los patines son de 800 mm de ancho y su espesor es variable de 32 mm a 76 mm.

Soldadura

Durante la fabricación de las piezas para dovelas, se utilizaron dos procesos de soldadura: una de arco con núcleo de fundente (FCAW) y la otra de arco sumergido (SAW). La totalidad de la soldadura fue inspeccionada al 40% aleatoriamente, según las especificaciones del proyecto, por medio de radiografías. En caso de que existiera una discontinuidad en la soldadura, que por su tipo o dimensión excediera los límites permitidos, se procedía a ampliar esta inspección al 100%, marcando físicamente las áreas

rechazadas para su correcta reparación.

Protección

A las piezas para dovelas, se les aplicó una protección anticorrosiva. Antes de aplicar esta protección, fue necesario realizar una limpieza, la cual consistió en aplicarle un chorro de arena (Sand-Blast), con aire comprimido. En este proceso se empleo arena silícea, totalmente libre de humedad y aplicándose a presión sobre el elemento a base del aire comprimido.

La protección anticorrosiva, consiste en un recubrimiento primario de acción galvánica, que se aplicó sobre la superficie del elemento debidamente preparada, y por una serie de capas de acabados relativamente gruesos, con capacidad de soportar los efectos de abrasión y de erosión; y suficientemente elástica para soportar las contracciones y dilataciones del acero, debido a los cambios de temperatura.

La capa primaria tiene un alto contenido de sólidos de Zinc, suspendidos en una resina de Poliuretano, capaz de penetrar en el interior de las porosidades de la superficie del acero, proporcionando una protección galvánica. Esta capa tiene un espesor de una milésima de pulgada (0.0025 Cm).

El recubrimiento de acabado, consistió en un poliuretano de sólidos no menor del 98%, y un espesor de 30 milésimas de pulgada (0.075 Cm). Se estima que los uretanos, tienen una duración de 1.25 años por milésima de espesor, por lo que, se espera una duración de 37.5 años sin deterioros significativos.

Transporte.

Una vez terminada la fabricación de las piezas para las dovelas, estas pasaron a un control de calidad, realizado por los laboratorios de "Industrias del Hierro". Una vez pasadas las pruebas de control de calidad de las piezas, estas fueron conducidas a través de plataformas remolcadas por tractocamiones hasta la obra.

4.3 MONTAJE

Para realizar el montaje de las piezas de la superestructura, ésta se llevó a cabo, a través de dos procedimientos distintos.

- 1.- Empuje de dovelas.
- 2.- Lanzado de dovelas, por medio de un pórtico.

4.3.1 Empuje de dovelas

La obra se conformó por dos superestructuras que se colocaron en su lugar, mediante el **procedimiento de empuje**; una con pendiente longitudinal ascendente, que es la que sale del estribo No. 1 hacia la pila número dos. Y la otra con pendiente longitudinal descendente, que es la que sale del estribo número 4 hacia la pila número tres. Cada una de estas estructuras fueron provistas, para las maniobras de empujado, con una nariz de 12.00 metros de longitud. Y adicionalmete la superestructura en descenso se prolongó en su parte trasera por dovelas, esto se

hace con el fin de conformar un contrapeso en la estructura.

La superestructura en ascenso, es decir la que cubre el claro que se encuentra entre el estribo No.1 y la pila número dos, tiene una longitud de 74.40 metros, esto es sin considerar la nariz de lanzado, y un peso total de aproximadamente 450 toneladas.

La superestructura en descenso, es decir la que cubre el claro del estribo No. 4 a la pila número tres, tiene una longitud total de 38.95 metros, esto es también sin considerar la nariz de lanzado y el contrapeso, y un peso total de 250 toneladas aproximadamente.

La pendiente longitudinal del puente, es decir del estribo número uno al estribo número cuatro, es de 5%, pero durante el proceso de empujado que se llevó a cabo para la colocación de las estructuras, estas tuvieron una variación: cada superestructura pasó sobre el terreno natural, tras los estribos, lo que provocó una contrapendiente del 3%, así la superestructura, que se encontraba del lado del estribo número uno, fue empujada con una pendiente de $5\% - 3\% = 2\%$. Y la superestructura que se encontraba por el otro lado, es decir la que se encontraba por el lado del estribo número cuatro, se retuvo con una pendiente en descenso de $5\% + 3\% = 8\%$.

Fases de construcción.

- a) Superestructura ascendente

La parte empujada constituida por los tramos 1,2 y 3 tienen

una longitud de 74.40 metros. Esta superestructura se empujó a partir de la zona de habilitado del estribo No. 1, hacia la pila No. 2, utilizando una torre provisional, la cual fue colocada a una distancia del eje del estribo número uno, de 35.00 metros (Fig. 4.3)

Se empujó la superestructura con una pendiente del 2%, arriba de la parte superior del estribo número uno hacia la pila número dos, y al final del proceso de empuje se bajó la superestructura al nivel de proyecto.

Fases de construcción (Fig.4.4).

- 1.- Se ensamblaron y soldaron los tramos 2 y 3, así como la nariz, sobre la zona de habilitado del estribo No.1.
- 2.- Se empujó 12.00 metros, se ensambló y soldó el tramo No.1.
- 3.- Se empujó hasta la torre provisional.
- 4.- Se sobrepasó la torre provisional.
- 5.- Se empujó hasta la pila No.2.
- 6.- Se sobrepasó la pila No.2.
- 7.- Se desmontó la nariz.
- 8.- Se empujó hasta la posición final.
- 9.- Se bajó la superestructura a su nivel de proyecto.

Una vez terminada la colocación de la superestructura en la posición de proyecto, se procedió a la construcción de la losa de concreto armado del claro 1-2. Durante el tiempo que duró la construcción del puente, fue necesario instalar un dispositivo antisísmico, que sujetó a la superestructura con el estribo número uno. Dicho dispositivo consistió, en un cable de 27

torones, de 15 mm de diámetro cada uno, el cual fue tensado a 574 toneladas y anclado a dos elementos formados por placas de acero. Uno soldado al patín superior de la viga longitudinal y otro anclado al estribo número uno. El sistema se colocó en ambos lados del estribo (Fig. 4.5).

b) Superestructura descendente.

La parte empujada, la cual está constituida por los tramos 11 y 12, tiene una longitud de 38.95 metros. Este tramo de superestructura fue empujada, a partir de la zona de habilitado del estribo No.4, pasando por la torre provisional hasta la pila No. 3 (Fig. 4.6). La estructura fue empujada, con una pendiente del 8%. Al final del proceso de empujado, la estructura fue bajada a su nivel de posición de trabajo.

Fases de construcción (Fig. 4.6)

- 1.- Se ensamblaron y soldaron los tramos 11 y 12, sobre la zona de habilitado del estribo No.4.
- 2.- Se ensambló la nariz y el contrapeso.
- 3.- Se empujó hasta la torre provisional.
- 4.- Se sobrepasó la torre provisional.
- 5.- Se empujó hasta la pila No. 3.
- 6.- Se sobrepasó la pila No. 3.
- 7.- Se desmontó la nariz y el contrapeso.
- 8.- Se empujó hasta la posición final.
- 9.- Se bajó estructura a nivel de proyecto.

Igualmente como en el tramo del claro 1-2, se instaló un dispositivo antisísmico, durante la construcción de la estructura, para sujetar a la superestructura con el estribo número cuatro. Para realizar este dispositivo, se utilizó de cada lado del estribo, un cable de 12 torones de 13 mm de diámetro cada uno.

Dicho cable fue tensado a 163 toneladas, y además anclado al muro diafragma del estribo número cuatro y a un elemento de anclaje soldado al patín inferior de la viga longitudinal (Fig. 4.7).

4.3.2 Principio del sistema de empuje.

El sistema de empuje que se utilizó, es de tecnología francesa, y su funcionamiento consiste en lo siguiente:

El empuje de las dos superestructuras, se realizó paso a paso, con la ayuda de un sistema de agarre, que toma su apoyo sobre cremalleras fijas, mediante topes móviles y gatos hidráulicos de efecto.

Los gatos se apoyaron en un extremo, a un "chasis de empuje", que se fijó con la ayuda de tornillos múltiples y fijados al patín inferior de la viga longitudinal de la superestructura. El otro extremo se fijó a un "chasis de apoyo", situado encima de la "cremallera". Las cremalleras fijas, se soldaron a dos vigas de acero ancladas a los estribos número uno y número cuatro.

Durante el desplazamiento, los tramos de la superestructura, resbalaron sobre apoyos provisionales, intercalando varios

patines de desplazamientos hechos a base de neopreno y teflón. Estos apoyos provisionales, se ubicaron en el área de ensamblaje de dovelas, las cuales se realizaron sobre terreno firme; además también se colocaron sobre estribos y sobre pilas.

También se colocaron sistemas de guías laterales, cerca de los apoyos provisionales, esto se hizo con el fin de asegurar una buena posición de la superestructura, durante el proceso de empuje (Fig. 4.8).

Cremallera

La cremallera es una pieza metálica que tiene una longitud de 16.125 metros, la cual está constituida por topes, los cuales están soldados a una placa que se encuentra ahogada en el concreto, y que sirven de apoyo para los balancines de los "chasis de empuje" y los "chasis de apoyo" (Fig. 4.9).

Chasis de empuje.

El chasis de empuje está constituido, por un "balancín" destinado a retener a la superestructura, apoyándose en los topes de la cremallera y de una mordaza continua de apriete; para sujetar el chasis al patín inferior de la viga longitudinal de la superestructura y de una articulación para el gato de empuje (Fig. 4.10).

Chasis de apoyo.

El chasis de apoyo está constituido por un balancín, que se

apoya en los topes de la cremallera y a una articulación para fijar el gato de empuje. Esta pieza se desliza sobre la cremallera (Fig. 4.11).

Procedimiento de empuje de la superestructura (Fig. 4.12).

- 1.- El "chasis de apoyo", se apoya en el tope de la cremallera por medio del balancín "A", y el "chasis de empuje" está fijo al patín inferior de la viga longitudinal.
- 2.- Se activa el gato de empuje y la superestructura avanza, el balancín "B" gira en su articulación, al deslizar sobre el próximo tope hasta caer enfrente de este.
- 3.- Al cerrar el gato, el balancín "B" se apoya en el tope, reteniendo a la superestructura. Al mismo tiempo el gato desplaza al "chasis de apoyo", hasta que, al cierre, el balancín "A" pasa al otro lado del nuevo tope. El ciclo es automático.

Al final de cada recorrido de 12.00 metros, se retiró el dispositivo de su sitio, para instalarlo de nuevo a 12.00 metros. Durante esta operación se colocó un segundo "chasis de empuje" antes de desmontar el primero, de manera que la superestructura estuviera siempre bloqueada.

Apoyos y guías.

En el área de montaje y sobre las pilas, la superestructura se apoyó sobre sillas de deslizamiento de teflón o neopreno y acero inoxidable, y se aseguró su posición durante el empuje, mediante algunas guías laterales (Fig. 4.13).

Nariz.

La nariz está constituida por dos vigas longitudinales de 12.00 metros de longitud y 1.30 metros de peralte. Estas dos vigas están contraventeadas, con tres vigas transversales, hechas de armadura ligera y ángulos. El peso total de la nariz es de 11.00 toneladas (Fig. 4.14).

La función principal de la nariz, fue la de disminuir el peso en el extremo de la superestructura, y de esta manera tener una flecha menor al llegar al apoyo provisional y a las pilas.

4.4 SUPERESTRUCTURA LANZADA.

En el montaje de las dovelas del tramo cuatro al tramo número diez, fue necesaria la utilización de un pórtico, para transportar y colocar cada pieza de la superestructura.

El pórtico está constituido por dos vigas longitudinales de 30.00 metros, con un voladizo de 14.00 metros. Estas vigas tienen una separación en el sentido transversal de 14.60 metros, y están unidas por tres vigas transversales y por contraventeos. El pórtico tiene un peso total aproximado de 41.00 toneladas (Fig. 4.15).

Cada viga longitudinal se apoya sobre dos pies, los cuales tienen una separación de 16.00 metros y se apoyan por medio de calzas. Cada pie cuenta con un "rodillo express" para su deslizamiento, y un gato para nivelar el pórtico y apoyarlo en las calzas. Los elementos del pórtico son de estructura ligera, y constituidos por perfiles IR y OR de acero estructural A-36, así como de placas de diferentes espesores.

Procedimiento de montaje.

Condiciones iniciales.

- 1.- Se instaló losa de concreto reforzado, y se realiza el tensado definitivo de los tirantes de la dovela anterior.
- 2.- El pórtico se coloca en su posición de trabajo.

Proceso constructivo (Fig. 4.16).

- 1.- Se transportan y colocan a partir de la dovela anterior, las dos vigas longitudinales de 12.00 metros cada una.
- 2.- Se transportan y colocan a partir de la dovela anterior, las vigas transversales, una por una.
- 3.- Se realiza un control topográfico y geométrico, después se apretaron los tornillos al 100%.
- 4.- Se colocan y tensan los tirantes al 75%.
- 5.- Se realiza armado y colado de la losa.
- 6.- Se efectúa el tensado definitivo de los tirantes.
- 7.- Se realiza el control topográfico y geométrico final.
- 8.- Se desplaza el pórtico 12.00 metros, para continuar con la siguiente dovela.

Sistema de empuje.

El proceso de empuje del pórtico, es similar al utilizado para el empuje de la superestructura.

4.5 LOSA DE CONCRETO.

En la construcción de la losa de concreto reforzado en el

claro 1-2, se dividió en cinco partes: en las partes extremas y en la parte central se colaron primero y al mismo tiempo. Posteriormente, después de un periodo de tres días, se colaron las otras dos parte intermedias. La losa del claro 3-4, se realizó en forma similar, con la diferencia, que ésta se dividió en tres partes.

Para la construcción de la losa del claro 2-3, ésta se realizó conforme al ciclo de montaje de las dovelas, en una longitud de 12.00 metros.

En la construcción de la losa de concreto armado, se utilizaron 398,000 Kg. de acero de refuerzo corrugado duro, con $F_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$; 1355.00 M3 de concreto, con $f'c = 300 \text{ Kg/cm}^2$ y revenimientos de 4.00 centímetros a 6 centímetros. El tamaño máximo del agregado fue de $3/4"$.

4.6 ATIRANTAMIENTO.

Los materiales utilizados en la fabricación de los tirantes, son de procedencia belga (Bélgica), y sus principales ventajas son las siguientes:

- 1.- Muy alta resistencia a la fatiga en el anclaje.
- 2.- No presentan efecto de grupo, es decir, cada torón trabaja de manera independiente.
- 3.- Absoluta seguridad en el anclaje.
- 4.- Ofrece, excelente protección contra la corrosión.
- 5.- Transporte y colocación, sencilla y económica.
- 6.- Permite revisiones y conservaciones, sencillas.
- 7.- Reparación en caso de daño accidental, torón por torón.

8.- Protección contra las inclemencias del tiempo por una vaina exterior.

Los torones que conforman a cada tirante, son de material flexible y están conformados por siete hilos, seis de ellos perimetralmente distribuidos en forma helicoidal, alrededor de un hilo central. Las principales características de los torones, son las siguientes:

- 1.- Diámetro de 15.70 mm.
- 2.- Area nominal de 150 mm².
- 3.- Carga mínima de ruptura de 260.00 KN.
- 4.- Límite elástico de 221.00 KN.
- 5.- Resistencia a la fatiga, en dos millones de ciclos de 117 KN.
- 6.- Peso de 1.30 Kg/m.
- 7.- Protegido por una capa de Zinc.

Los torones del tirante, se insertan en bloque de acero y se anclan a éste por medio de cuñas cónicas. El bloque de anclaje tiene un diámetro de 24.00 centímetros y un espesor de 8.50 centímetros. Es roscado, para poderlo sujetar con una tuerca de 33.60 cm. de diámetro y espesor de 8.00 cm.. Entre la tuerca y la placa de apoyo se coloca una contraplaca de acero de 50.00 cm x 50.00 cm, con espesor de 5.00 cm. (Fig. 4.17).

La funda utilizada para proteger a los torones de tirante, es de un material de tipo polietileno, estable a los efectos de la luz, de gran resistencia y flexibilidad, y de peso muy ligero

que facilita su manejo. El diámetro de las fundas es de 8" y 10", esto está en función del número de torones que conforman cada tirante.

Los cables se fijaron al mástil en uno de sus extremos, mediante un sistema de anclaje pasivo y por el otro extremo se une al tablero de la superestructura, mediante un anclaje activo, que permite poner en tensión cada uno de los torones, tanto durante el proceso de construcción, como durante la operación, para verificarlos y ajustarlos en caso necesario.

Las características de cada uno de los tirantes se muestra en la siguiente tabla:

TIRANTE	LONGITUD (M)	NO. DE TORONES	PESO (KG)	FUERZA (TON)
T-14t	112.63	27	3,539.61	144.39
T-13t	109.63	37	4,721.50	138.01
T-12t	106.64	37	4,592.60	140.64
T-11t	103.64	37	4,463.65	159.03
T-10t	100.65	37	4,334.84	188.96
T-9t	97.66	34	3,864.99	161.97
T-8t	94.67	31	3,416.11	156.60
T-7t	91.68	29	3,094.82	160.08
T-6t	88.70	26	2,684.27	146.75
T-5t	80.65	22	2,065.29	123.01
T-4t	70.83	19	1,566.39	114.18
T-3t	61.80	18	1,294.85	103.36
T-2t	53.83	16	1,002.57	94.91
T-1t	47.00	14	765.98	87.95
T-1a	46.14	14	751.91	89.51
T-2a	51.96	16	967.74	92.81
T-3a	59.07	19	1,306.28	79.36
T-4a	67.42	20	1,569.51	56.74
T-5a	76.74	23	2,054.48	50.95
T-6a	86.78	25	2,525.15	70.15
T-7a	97.24	27	3,055.93	74.42
T-8a	107.95	27	3,392.56	64.68
T-9a	118.94	31	4,291.72	117.94
T-10a	130.14	31	4,695.83	127.00
T-11a	141.73	31	5,106.79	110.18
T-12a	152.90	31	5,517.06	103.16
T-13a	164.39	31	5,931.70	109.30
T-14a	175.93	24	4,914.84	108.25

4.6.1 Instalación de tirantes.

La instalación y tensado de los tirantes se realizó simétricamente con respecto al eje de la pila número dos, esto se hace con el fin de evitar posibles esfuerzos de deformación, en la estructura o en el mástil.

La instalación de los tirantes se llevó a cabo a través de las siguientes etapas:

- 1.- Habilitado y colocación de la funda e insertado de los torones.
- 2.- Inyección de la cera.

1.-Habilitado y colocación de la funda e insertado del primer torón.

Para obtener la longitud total de la funda de un tirante, fue necesario unirlos por medio de un sistema de termofusión. Dicho sistema consiste en la utilización de un equipo acondicionado con abrazaderas, estas abrazaderas ejercen cierta presión sobre la unión de los extremos y al mismo tiempo se le aplica calor suficiente para fundirlo, logrando así la unión.

Procedimiento (Fig. 4.18).

- 1.- Se colocaron dos piezas de sujeción en ambos extremos de la funda, para su izaje.
- 2.- Creando un flujo de aire con la ayuda de un compresor, se movió una pieza de tracción por el interior de la funda, para insertar un cable del malacate.

- 3.- Con el malacate se jaló el primer torón, que es el más largo del tirante, hasta sobrepasar 5.00 metros de la funda.
- 4.- Se apretó el torón a una pieza especial de sujeción, colocada en la brida de la vaina.
- 5.- Se fijó un malacate de 3.00 toneladas al pie del mástil y una polea con una pieza para sujetarla, al tubo cañón superior al del tirante por colocarse.
- 6.- Se armó el circuito del cable del malacate, pasando por la polea hasta el extremo de la vaina.
- 7.- Con un grillete se fijó el cable del malacate sobre la pieza de sujeción de la vaina.
- 8.- Con el malacate de 3.00 toneladas, se izó la vaina y su torón hasta 1.50 metros, de la salida del tubo cañón en el mástil.
- 9.- Se colocó con dos grilletes, un tirfor de 3.00 toneladas, de la pieza de sujeción de la vaina hasta el tubo cañón superior, tomando el peso de la vaina con el tirfor y retirando el cable del malacate.
- 10.- Del interior del mástil, se insertó en el orificio número uno de la placa de anclaje, un hilo guía de 5.00 mm de diámetro, hasta salir 0.50 metros del tubo cañón.
- 11.- Se conectó sobre el hilo guía un acoplador, para unirlo con el torón sobresaliente de la funda. El torón se preparó cortando los 6 hilos perimetrales, y dejando sobresalir 80.00 cm. el hilo central.
- 12.- Del interior del mástil se jalaron: el hilo guía, el acoplador y el torón, hasta sobresalir 10.00 cm. de la placa de anclaje.

- 13.- Se quitó la funda y la pieza de sujeción del torón.
- 14.- Con la ayuda de otro tirfor de 3.00 Ton. se jaló la funda del lado del anclaje pasivo, lo mas cerca posible al tubo cañón soldado en la superestructura.
- 15.- De la misma manera que en el lado pasivo, se insertó el primer torón en el lado de anclaje activo.
- 16.- Finalmente se tensó el torón con un gato unifilar, por el método de "isotensión".

Método de isotensión.

Este método tiene por objeto efectuar las tensiones sucesivas de los torones, de tal manera que todos tengan la misma tensión. El primer torón se tensa con una fuerza predeterminada, y medida con un captor de fuerza, además, está mantenido en posición, hasta la tensión del último torón mediante un anclaje auxiliar, puesto atrás del captor de fuerza.

Esta fuerza, cuyo valor es permanentemente registrado, evoluciona en función de la tensión de cada uno de los torones instalados y tensados, debido a las deformaciones de la estructura.

Durante la tensión de los torones, el valor de la fuerza aplicada por el gato y medida por el captor de fuerza, es comparado e igualado al valor de la tensión del torón de referencia.

La fuerza total (Ft) de un tirante es igual:

$$F_t = n \times F$$

donde:

n = Número de torones.

F = Fuerza registrada en el captor de referencia.

La fuerza final obtenida de la tensión del último torón, depende de la fuerza aplicada al primer torón y a la deformación hipotética de la estructura. Para este método se utilizó un equipo electrónico o caja de isotensión, que registra la tensión aplicada al torón y la compara con la tensión del torón de referencia.

2.- Inyección de la cera.

Una vez realizada la tensión final de los torones, se procedió a cortar las puntas para colocar los capuchones extremos y proceder a la inyección de la cera.

La cera se inyectó en caliente y el procedimiento de inyectado se realizó de abajo hacia arriba, checando que la cera saliera por respiraderos o tubos de purga, que se colocaron en la parte superior de los tensores y así poder garantizar que quedaron completamente llenos. Esta cera es derivado del petróleo, con alto punto de fusión y conteniendo inhibidores químicos de la corrosión.

Este procedimiento de inyectado se realizó cuando el sol ya se había ocultado.

4.7 PRUEBAS DE CARGA.

Antes de poner el puente en servicio, se comprobó su comportamiento estructural, colocando vehículos pesados similares a los que fueron utilizados en el diseño. Dichos vehículos fueron puestos en posiciones diferentes sobre el claro mas largo, en las pilas y en los tirantes, induciéndoles los mayores valores de

esfuerzo.

Se usaron 20 camiones, cargados con un peso total superior a las 35.00 toneladas cada uno, concentrando 16.00 toneladas en dos ejes separados 1.2 metros.

Fueron determinadas las deformaciones producidas en tres direcciones, mediante deformímetros, inclinómetros, rayos laser, etc. Los esfuerzos se midieron con instrumentos que en algunos casos se colocaron durante la construcción. Su respuesta, mediante monitoreo, se transfería a un equipo de computación instalado en el interior del tablero.

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

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

Se efectuó además, un estudio de la respuesta dinámica del claro mas largo. 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 velocidades inferiores a 10 Km/hr. Así mismo, se generaron vibraciones libres, mediante la descarga súbita de una fuerza de 20.00 toneladas, aplicada al centro del claro largo.

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

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

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

SUPERESTRUCTURA
SECCION TRANSVERSAL

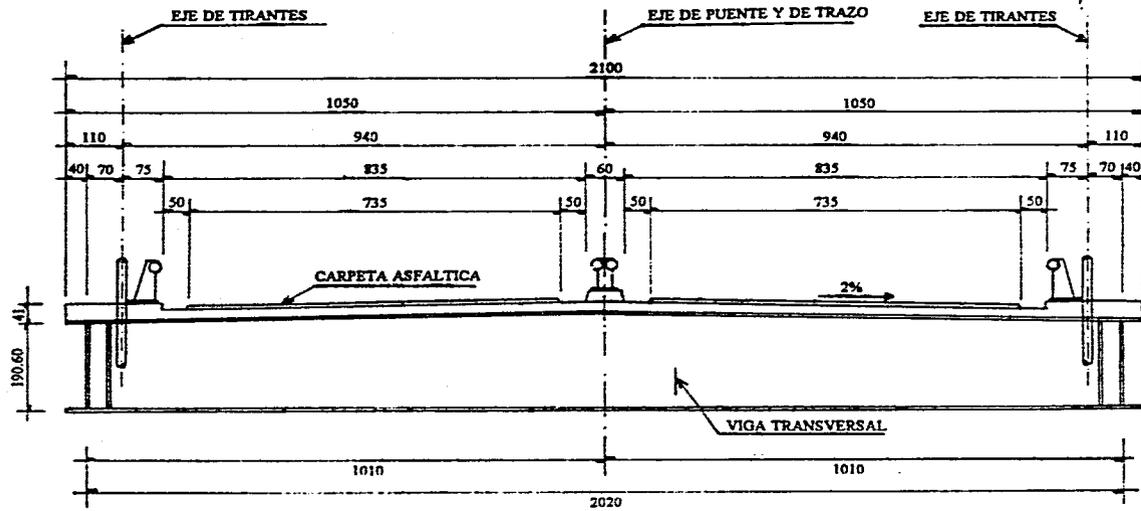
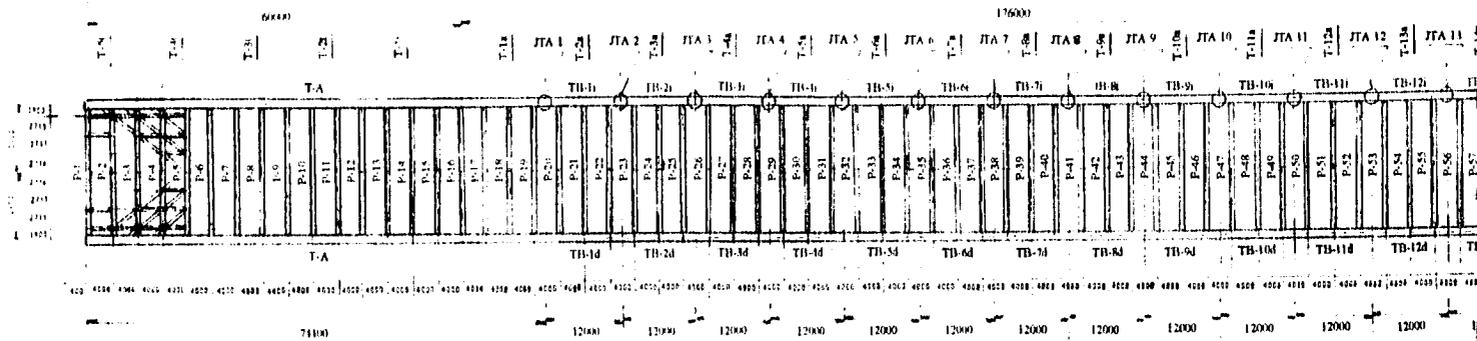
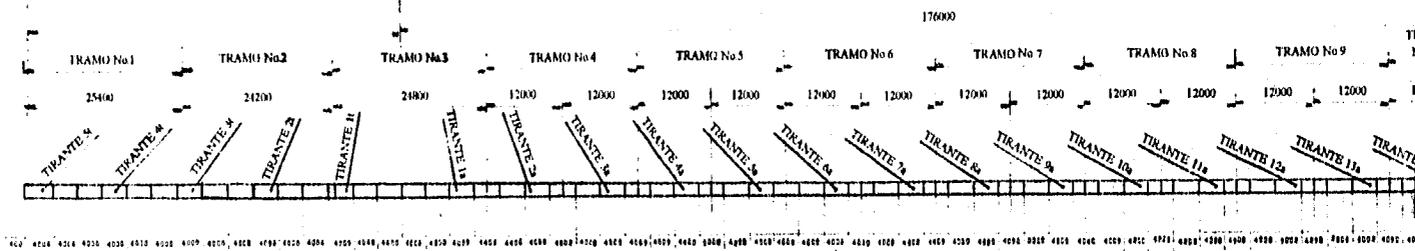


FIGURA 4.1

PLANTA GENERAL DE MONTAJE



PLANTA



ELEVACION

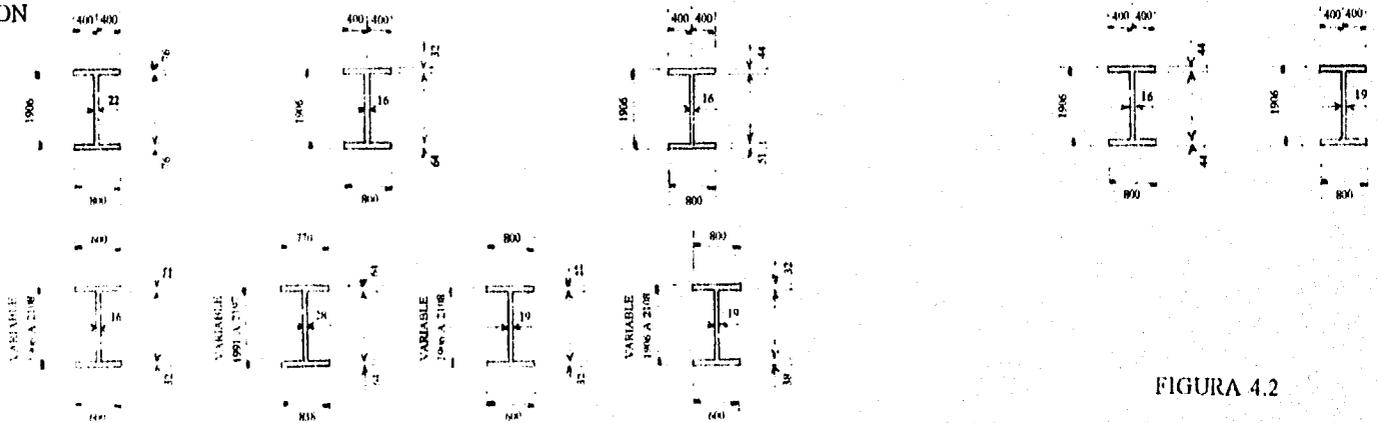
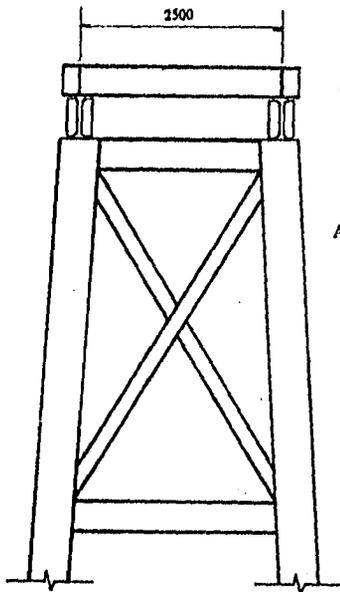
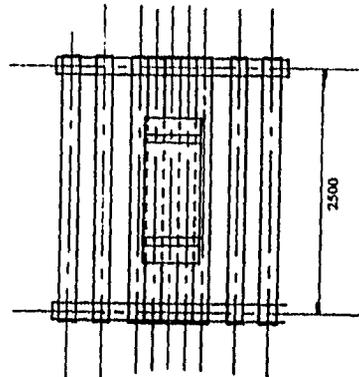


FIGURA 4.2

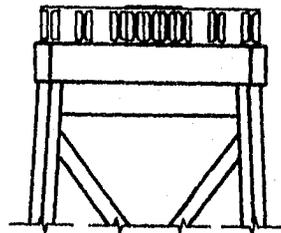
TORRE PROVISIONAL



ELEVACION



PLANTA



CORTE A-A'

FIGURA 4.3

**FASES DE EMPUJE
CLARO 1 - 2**

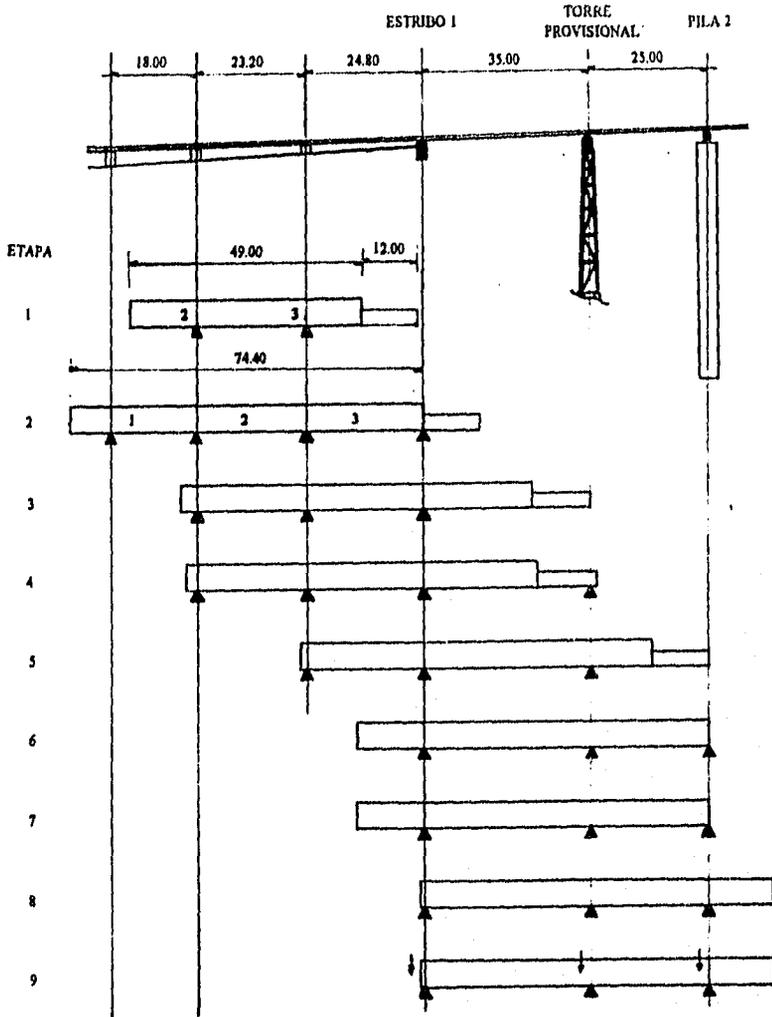


FIGURA 4.4

DISPOSITIVO ANTISISMICO
CLARO 1 - 2

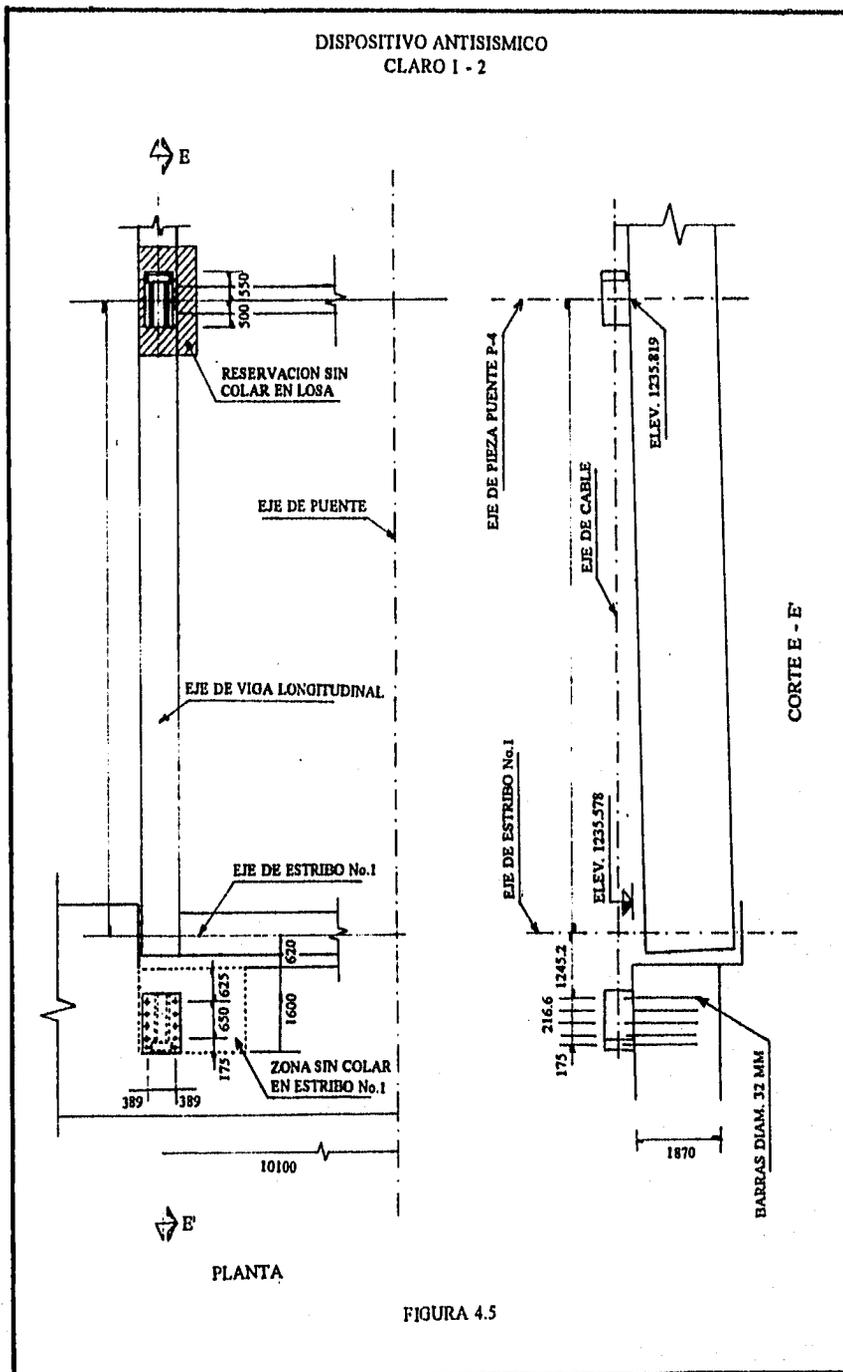


FIGURA 4.5

FASES DE EMPUJE CLARO 3 - 4

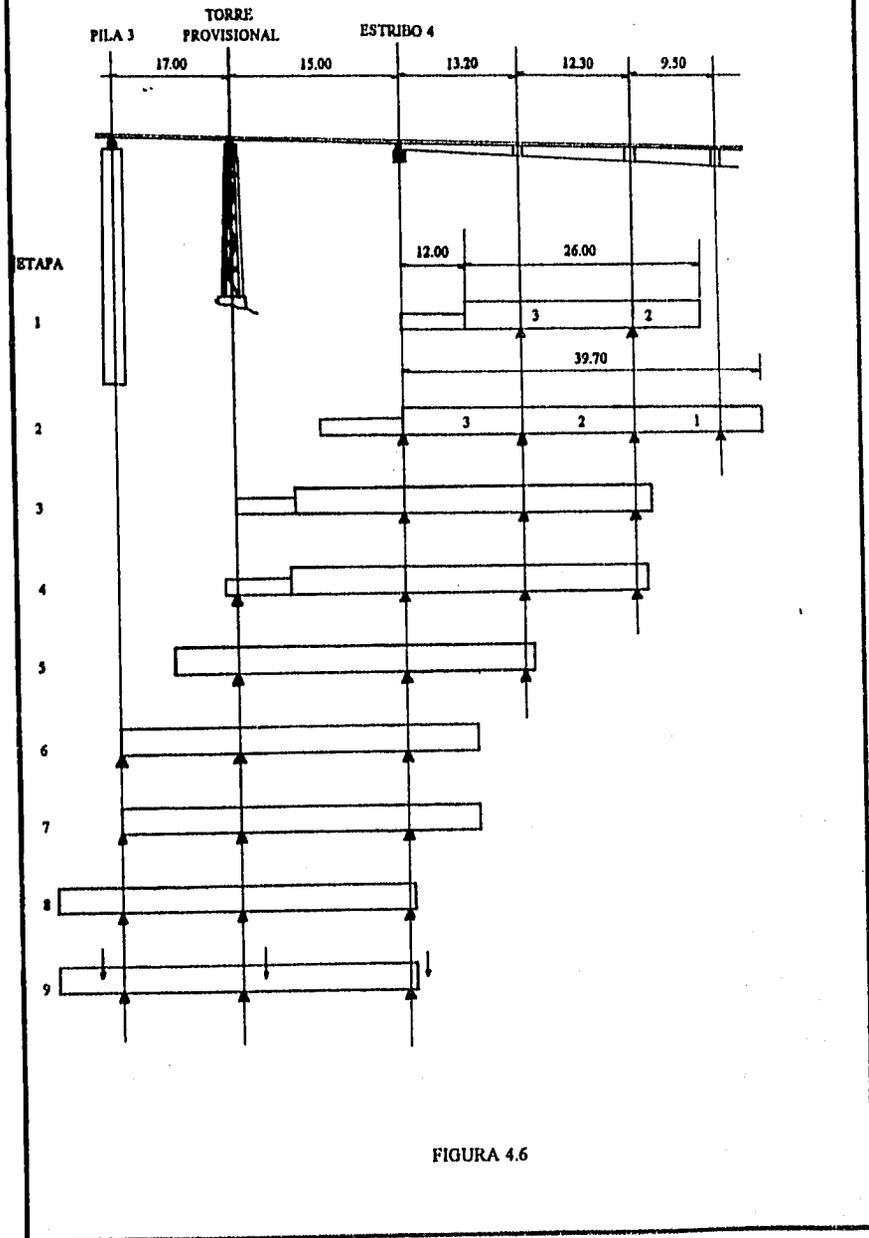


FIGURA 4.6

DISPOSITIVO ANTISISMICO
CLARO 3 - 4

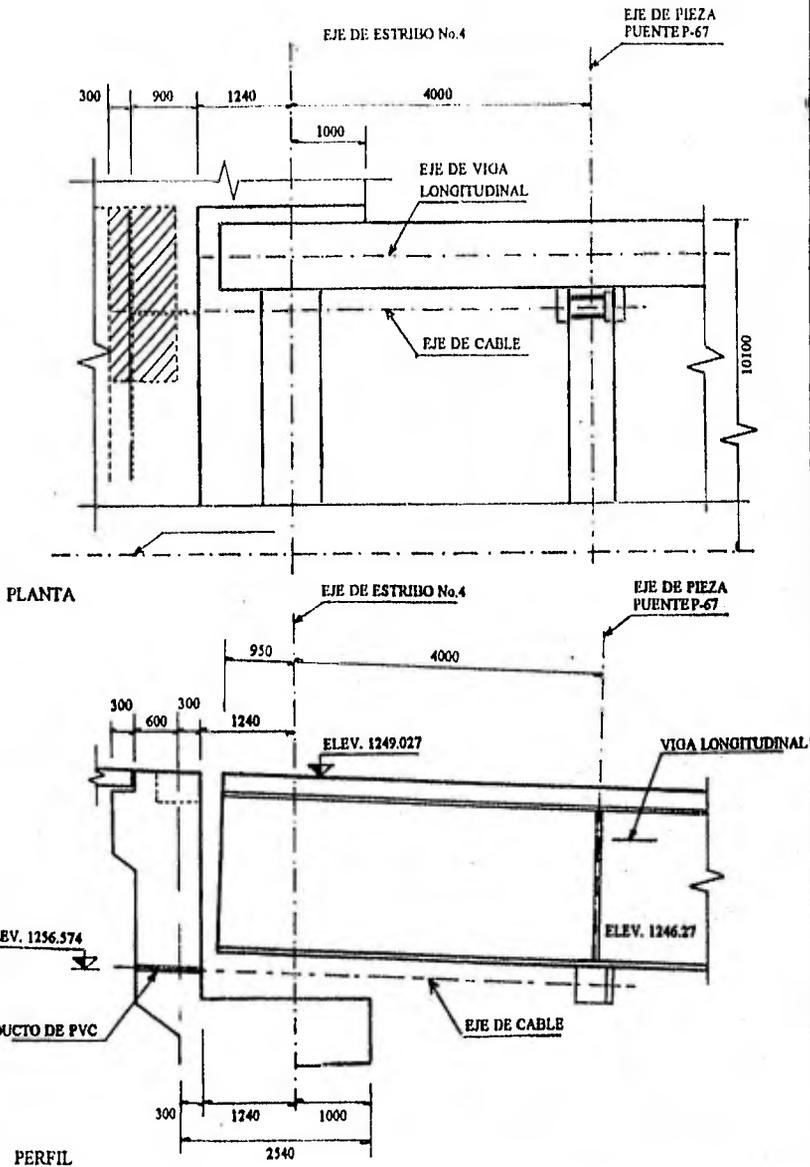


FIGURA 4.7

CONJUNTO DEL SISTEMA DE EMPUJE

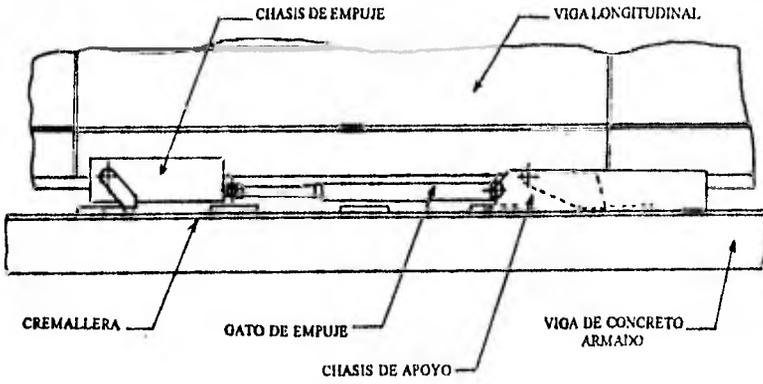


FIGURA 4.8

CREMALLERA

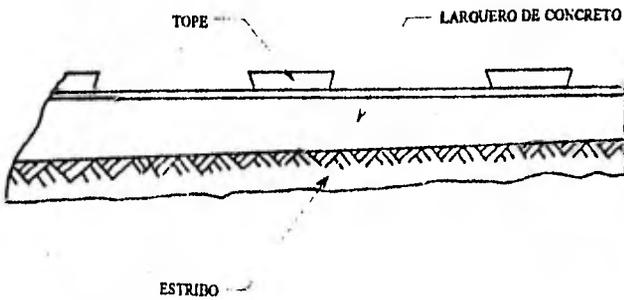


FIGURA 4.9

CHASIS DE EMPUJE

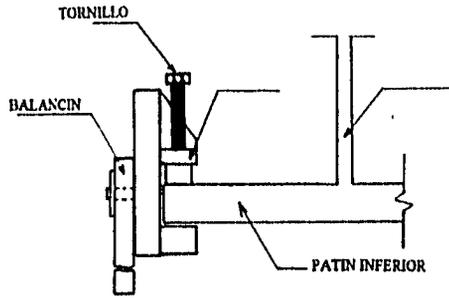


FIGURA 4.10

CHASIS DE APOYO

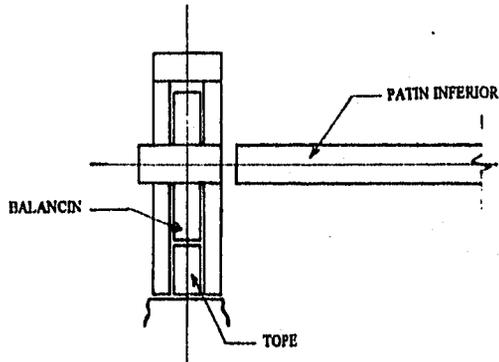


FIGURA 4.11

PROCEDIMIENTO DE EMPUJE, SUPERESTRUCTURA ASCENDENTE

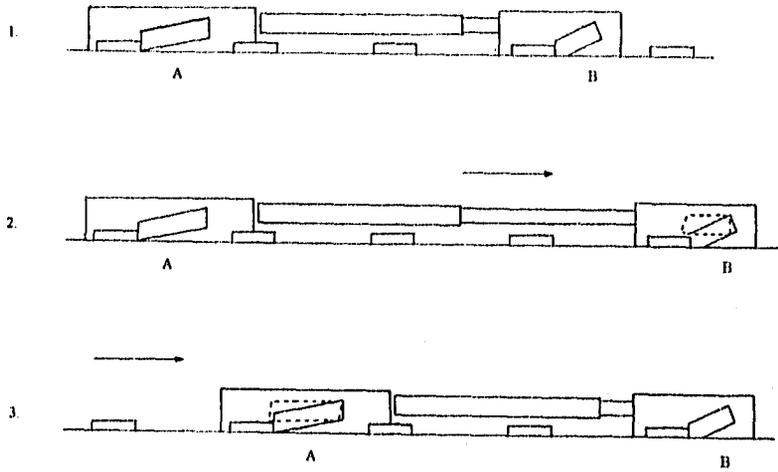
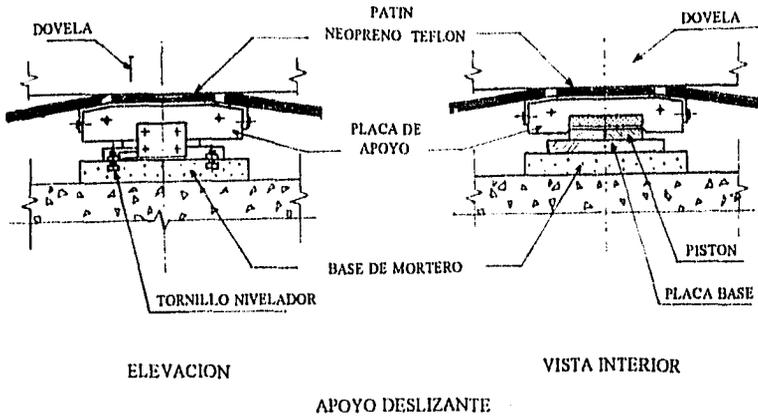


FIGURA 4.12

APOYOS Y GUIAS



ELEVACION

VISTA INTERIOR

APOYO DESLIZANTE

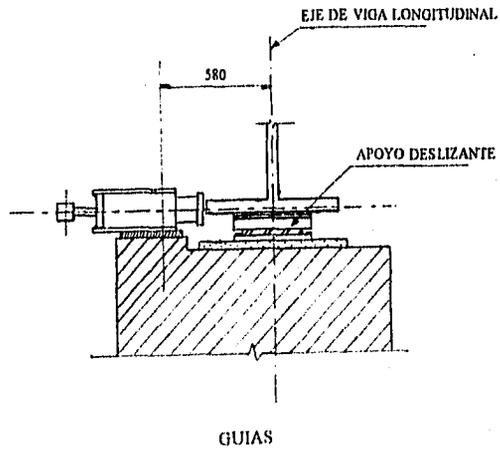


FIGURA 4.13

NARIZ

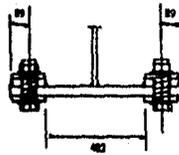
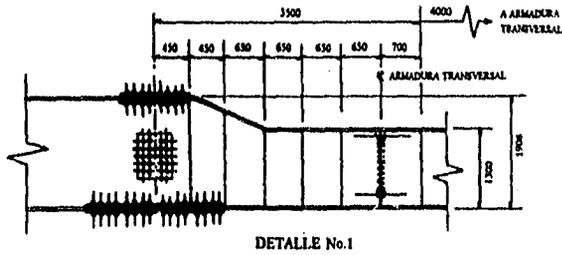
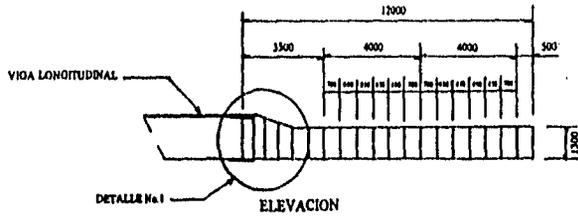
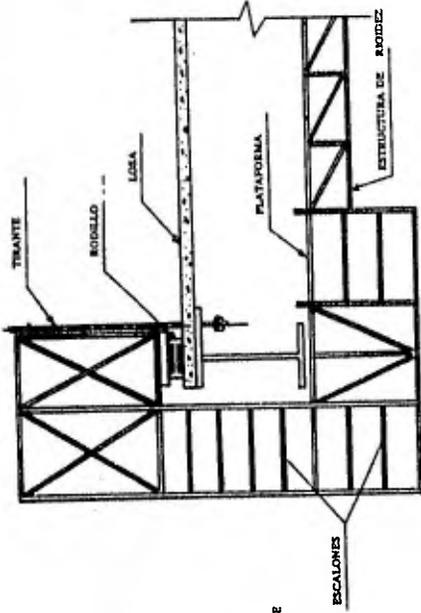
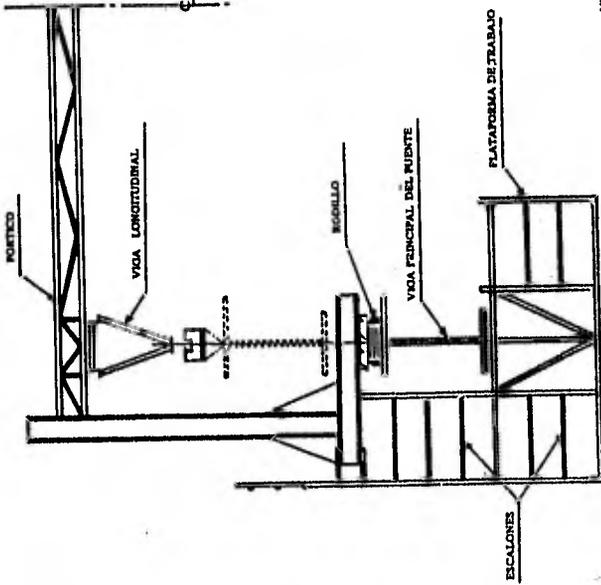
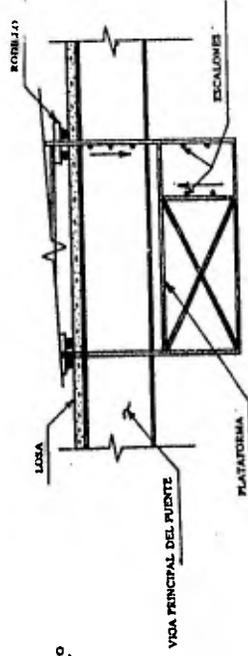


FIGURA 4.14

PORTICO



PLATAFORMA DE TRABAJO
VISTA DE ATRAS

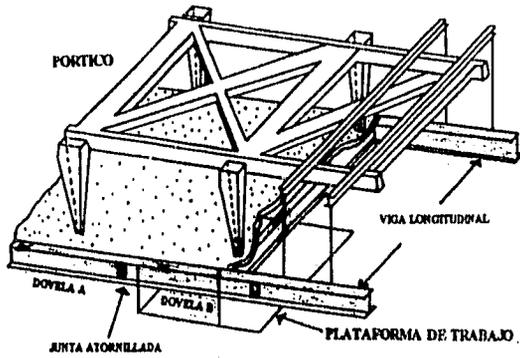


VISTA LATERAL

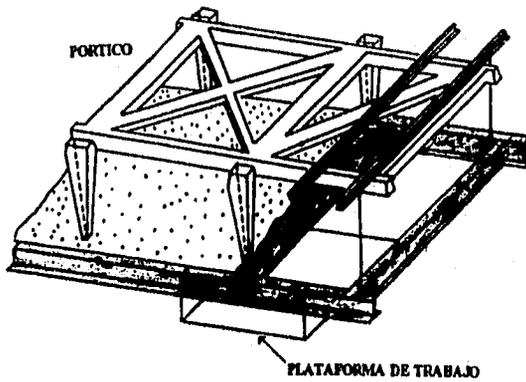
VISTA FRONTAL

FIGURA 4.15

MONTAJE DE DOVELAS



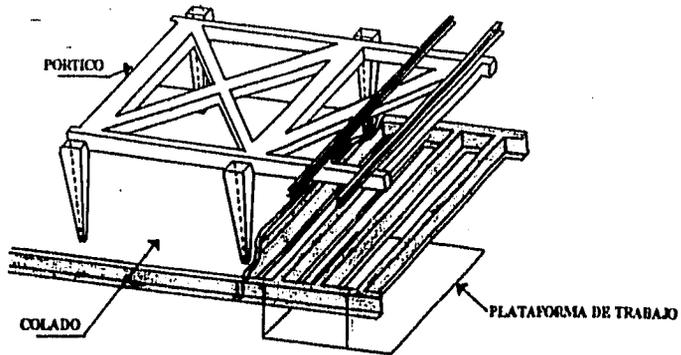
1. COLOCACION DE LA VIGAS LONGITUDINALES



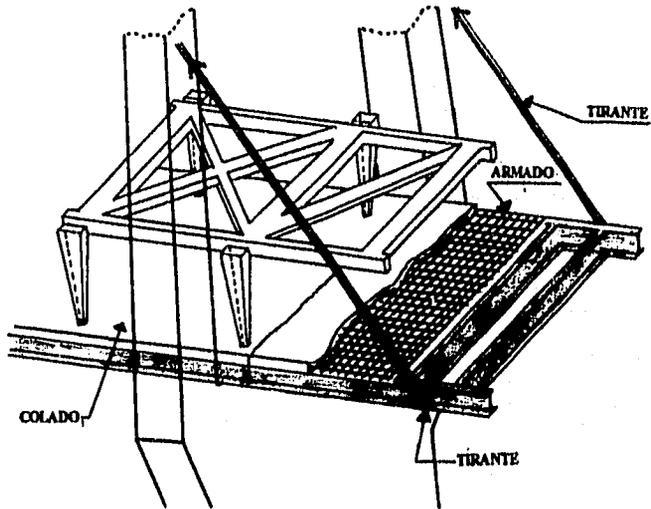
2. COLOCACION DE LAS PIEZAS PUENTE

FIGURA 4.16a

MONTAJE DE DOVELAS



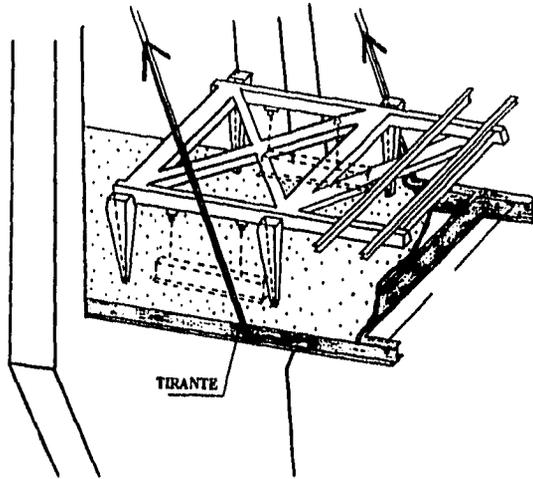
3. CONTROL GEOMETRICO ANTES DEL APRIETE DE TORNILLOS AL 100%



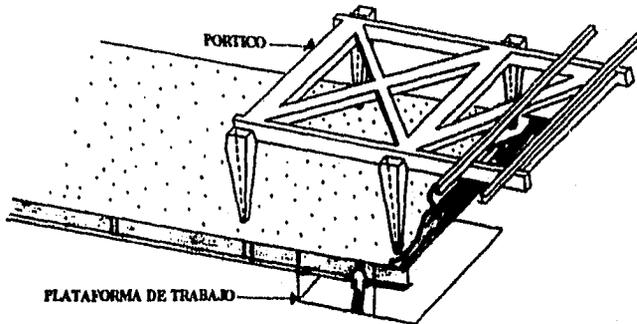
4. COLOCACION Y TENSADO DE LOS TIRANTES Y ARMADO Y COLADO DE LA LOSA

FIGURA 4.16b

MONTAJE DE DOVELAS



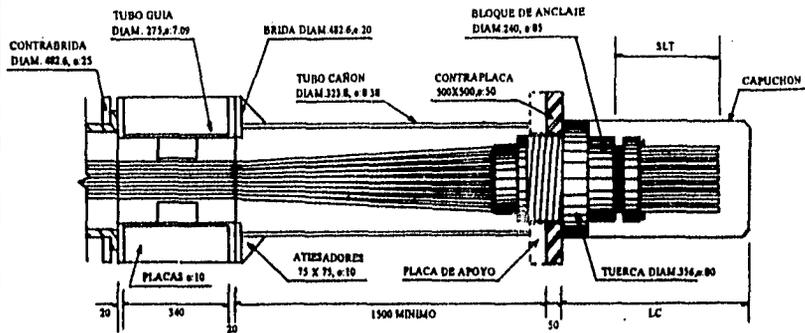
5. TENSADO DEFINITIVO Y CONTROL GEOMETRICO FINAL



6. DESPLAZAMIENTO DEL PORTICO PARA EL MONTAJE DE LA SIGUIENTE DOVELA

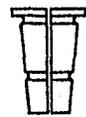
FIGURA 4.16c

SISTEMA DE ANCLAJE

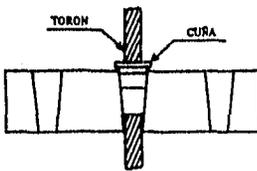


SLT - SOBRELONGITUD DE CORTE DE LOS TORONES
(VARIABLE SEGUN EL TIRANTE)

LC - LONGITUD DE CAPUCHON
(VARIABLE SEGUN EL TIRANTE)



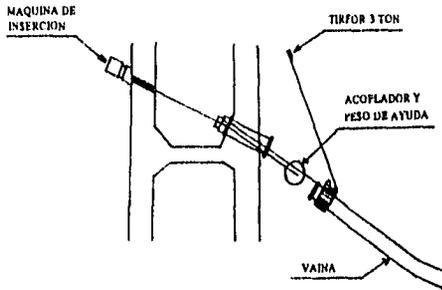
CUÑA CONICA



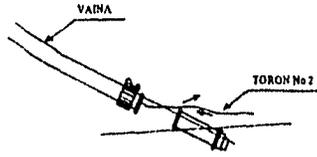
BLOQUE DE ANCLAJE

FIGURA 4.17

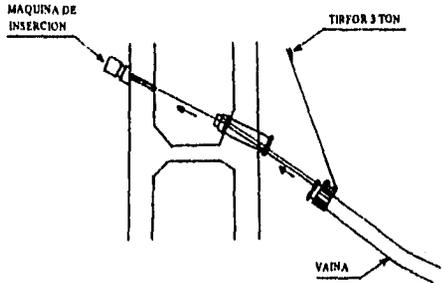
INSERTADO DE TORONES



- INSTALAR LA MAQUINA DE INSERCIÓN.
- INSERTAR EL HILO DE 3 MM DE DIAMETRO PASÁNDOLO POR EL ORIFICIO N° 2 DE LA PLACA DE ANCLAJE Y HASTA LA SALIDA DEL TUBO CARÓN.
- AÑADIR EL ACOPLADOR Y EL PESO DE AYUDA.



- BAJAR EL HILO CON SU ACOPLADOR Y EL PESO DE AYUDA, HASTA EL OTRO EXTREMO DE LA VAINA.
- RETIRAR EL PESO DE AYUDA Y CONECTAR LA PUNTA DEL TORÓN N° 2 AL ACOPLADOR.



- CON LA MAQUINA DE INSERCIÓN SUBIR EL TORÓN N° 2.

FIGURA 4.18



FOTO No. 4.1.- Vista general del empujado del claro 3-4.

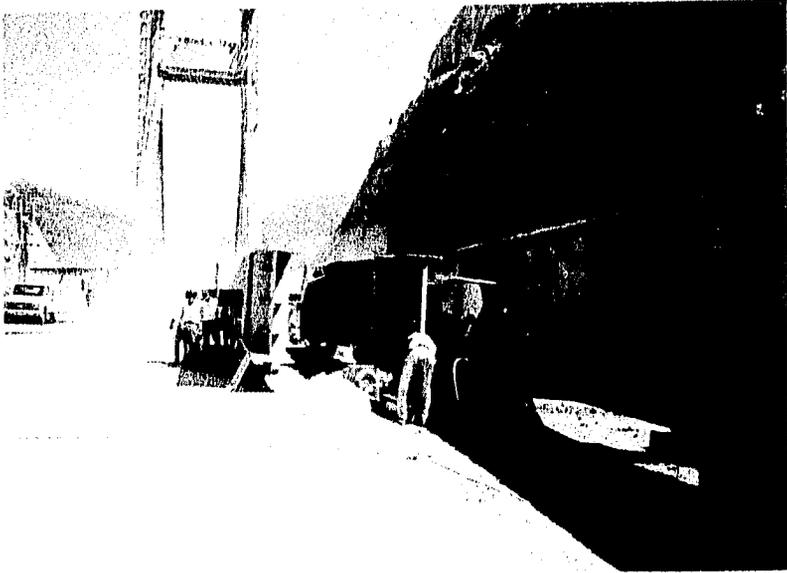


FOTO No. 4.2 Aplicación de pintura en piezas metálicas.

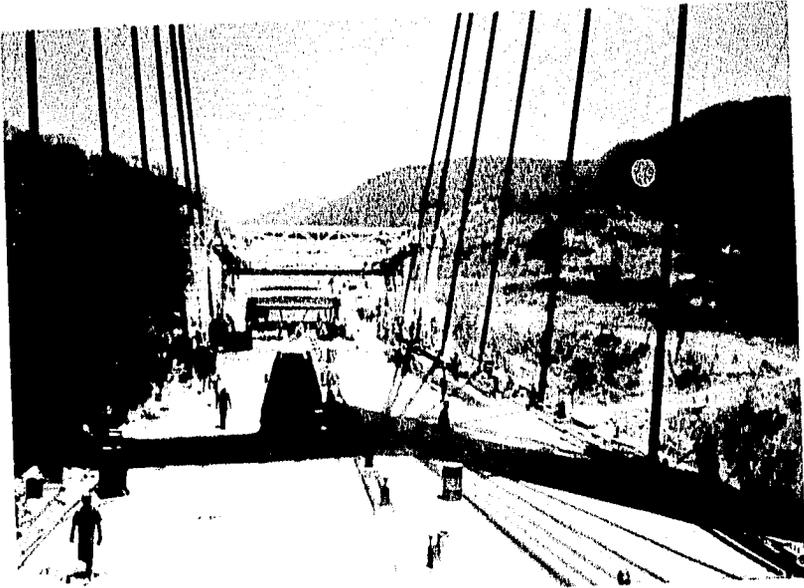


FOTO No. 4.3.- Vista general del pórtico.

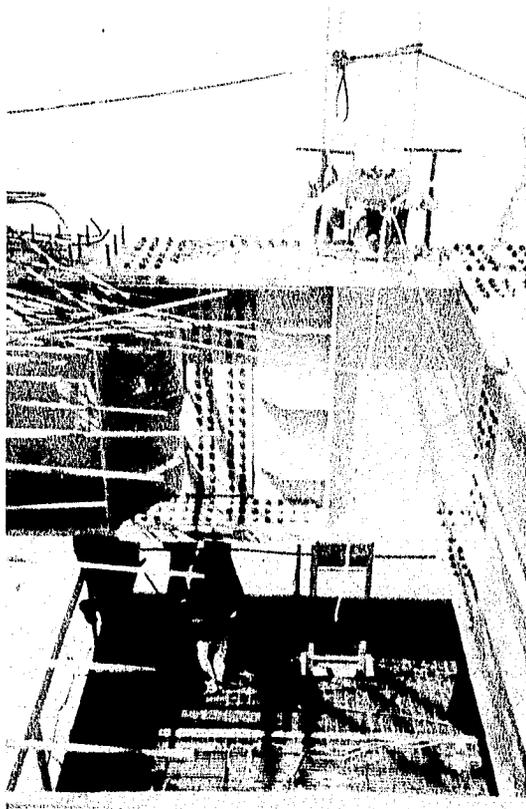


FOTO No. 4.4.- Vista de junta de piezas de trabe longitudinal y junta de pieza
Puente con viga longitudinal.

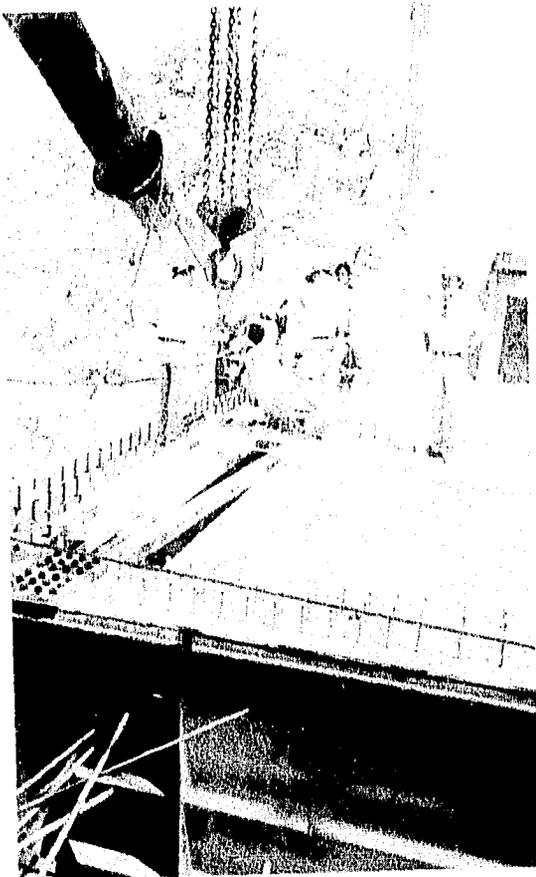


FOTO No. 4.5.- Preparación de cimbra losacero, para celado de Dovala No. 6
en claro 2 - 3.

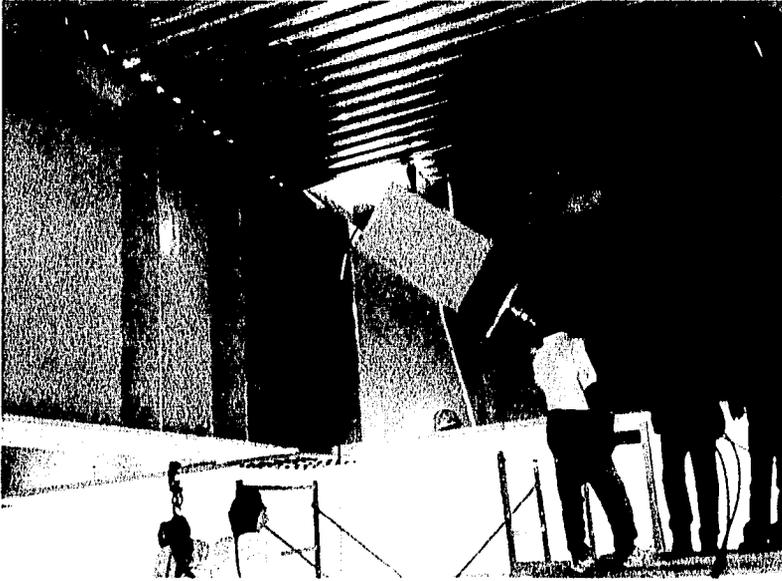


FOTO No. 4.6.- Tensado inicial del primer torón (derecho).

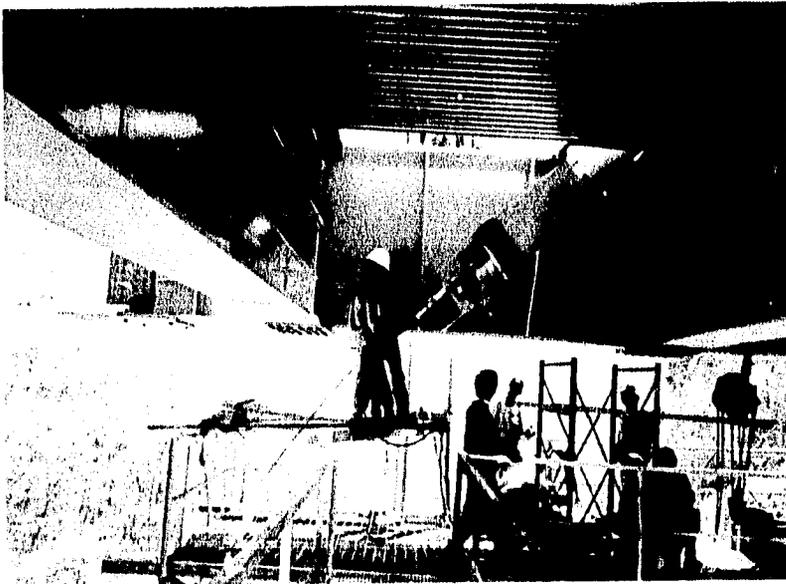


FOTO No. 4.7.- Tensado inicial del primer torón (izquierdo).

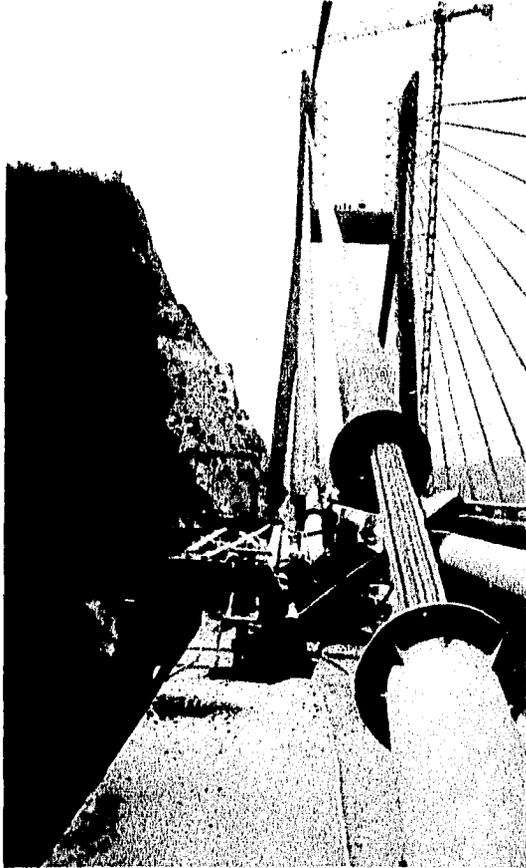


FOTO No. 4.8.- Vista del tirante T-13, con sus torones (totales) insertados.

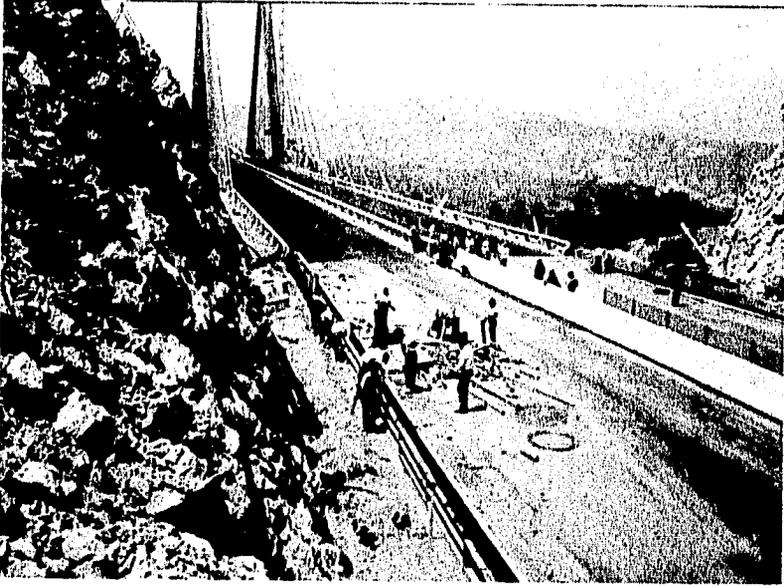


FOTO No. 4.9.- Vista general de cimbrado y armado de guarniciones, laterales y centrales. Y colocación de parapetos.

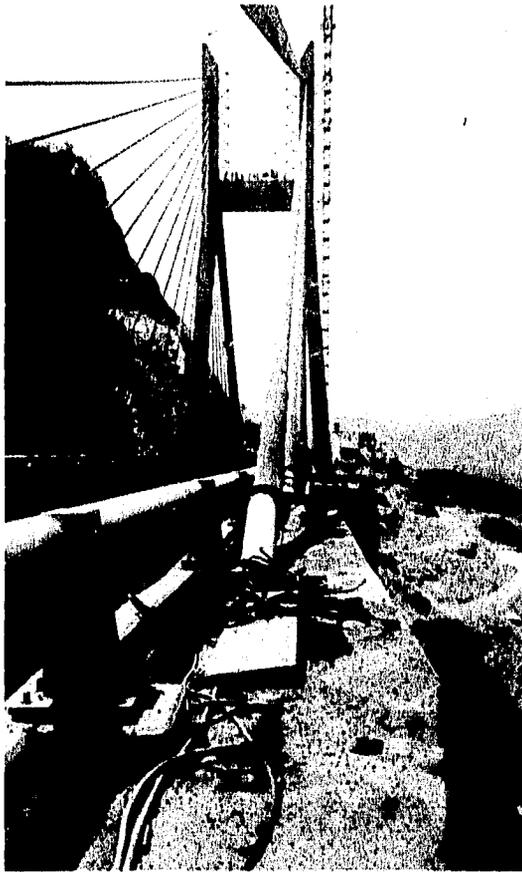


FOTO No. 4.10.- Vista general de los tirantes y el pilón del puente.

CAPITULO V : CONCLUSIONES

CAPITULO V : CONCLUSIONES

Con el uso del sistema de atirantamientos en los puentes, casi no se tienen obstáculos para salvar grandes claros. A esto le agregamos que éstos cuentan con una buena estética y que además la estética no debe estar peleada con la funcionalidad.

Los trabajos que pretenden tratar las cuestiones relacionadas con la estética de las construcciones, aparentemente atañen sólo a diseñadores y arquitectos, el que un ingeniero pretenda adentrarse en ello podrá parecer osado, sin embargo, todos los textos consultados que han sido escritos en los últimos veinte años, fueron hechos por ingenieros, y sin que vayamos a decir lo mismo que ellos, si haremos lo posible por interpretar sus ideas y tratarlas de extrapolar a nuestras realizaciones en las obras de ingeniería vial y específicamente a los puentes.

Salvo contadas excepciones, la mayoría de los ingenieros que hoy proyectan y construyen puentes, se han olvidado de lo estético que los mismos se merecen. En muchas obras importantes, por lo que significan ellas mismas ante lo que las rodea, solo se busca aquello que, en apariencia resulte técnicamente eficaz, sin entrar a analizar lo que nos enriquecería la vida, si logran expresarse en obras, las complejas funciones de lo que hacemos y de lo que llevamos dentro, como seres humanos que somos.

No se puede pretender jamás, que todo puente tenga que estar bien logrado por el solo hecho de permitir el paso de un lugar

a otro, salvando un determinado obstáculo con una determinada luz y un determinado número de apoyos intermedios; a él, como a toda obra de ingeniería, se le imponen tres condiciones fundamentales: la primera; que sea útil, que cumpla la función para la que ha sido ejecutado, la segunda, que sea agradable a la vista de aquel que la contempla y la tercera, que sea económico.

El proyectista actúa sobre el medio para adaptarlo a los requerimientos de la obra que él diseña, el hecho de colocar un puente en cualquier entorno, es ya de por sí una perturbación a ese entorno, en el que se está alterando su forma primitiva y tradicional, y se están introduciendo elementos nuevos que cambiarán prácticamente la imagen que se tiene del lugar, cualquier paisaje será diferente después que se haya colocado en él un puente, lo que se trata es que ambos sean asimilados de forma que se refuercen mutuamente, el puente, no ha de transtornar la armonía que puede existir en un determinado lugar, sino integrarse a este de modo que su presencia, ya irremediable, forme un todo único con lo que le rodea.

Y en cuanto a los costos se refiere, póngase a un lado de una balanza lo que cuesta ver y disfrutar a plenitud por varias generaciones una obra digna, construida con calidad, estéticamente bien lograda y con altos valores expresivos, y en el otro, los costos directos que resultan de la construcción de una obra pobre, monótona y aburrida, aún cuando esta sea técnicamente eficaz y cumpla la misma función que la anterior. No nos queda ninguna duda hacia que lado se inclinaria la balanza.

BIBLIOGRAFIA

"SUPLEMENTO 17 DE OBRAS PUBLICAS"
Año IV, No.44, Noviembre de 1969
Secretaría de Obras Públicas.

"REVISTAS CONSTRUCCION Y TECNOLOGIA"
Vol. I, No.6, Noviembre/1988 y
Vol. IV, No.49, Junio/1992
I M C Y C

"LA RUTA DEL SOL"
Pasado y Presente
Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

"MANUAL DEL INGENIERO CIVIL"
Frederick S. Merritt
Edit. McGraw-Hill
Traducción de la 2da. edición en inglés, 1989.

"DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACERO"
jack C. McCormac
Editorial Alfaomega 1989.