



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ACATLAN**

**PUENTE COATZACOALCOS II
CONSTRUCCION DE LA SUBESTRUCTURA Y
SUPERESTRUCTURA**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A :
CESAR VALDIVIESO CASIQUE

STA. CRUZ ACATLAN, EDO. DE MEXICO

1983

M-0028673



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis 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.

ACA-V 2118

C.2

A la memoria de mi padre :

Sr. Ricardo Valdivieso Ruiz

quien con su ejemplo y cariño

me señaló e iluminó el camino.

A mi madre :

Sra. Quintina Casique Vda. de Valdivieso,

con cuyo amor y comprensión he contado

toda la vida.

A mis hermanos.

Por el afecto y la ayuda que

siempre me han brindado.

A mis tíos.

Por su cariño y

colaboración.

A mis amigos.

A mis maestros.

A mi escuela.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN

COORDINACION DEL PROGRAMA DE INGENIERIA

CI-202/82

SR. CESAR VALDIVIESO CASIQUE,
Alumno de la Carrera de
Ingeniería Civil,
P r e s e n t e .

De acuerdo a su solicitud presentada con fecha 7 de octubre de 1982, me complace notificarle que esta Coordinación tuvo a bien asignarle el siguiente tema de tesis: "Puente Coatzacoalcos - II. Construcción de la subestructura y superestructura", el cual se desarrollará como sigue:

- Introducción
- I. Reseña histórica de los puentes.
- II. Descripción de la obra.
- III. Procedimiento constructivo de la subestructura.
- IV. Procedimiento constructivo de la superestructura.
- V. Análisis de un precio unitario.
- Conclusiones.

Asimismo fue designado como Asesor de Tesis el señor - Ingeniero Fernando Favela Lozoya, profesor de esta Escuela.

Ruego a usted tomar nota que en cumplimiento de lo especificado en la Ley de Profesiones, deberán prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito básico para sus tentar examen profesional, así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado. Esta comunicación deberá imprimirse en el interior de la tesis.

A t e n t a m e n t e
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
de Méx., noviembre 18 de 1982



ALEJANDRO RAMIREZ SECEÑA,
Coordinador del Programa de Ingeniería.

ENEP - ACATLAN
COORDINACION DEL
PROGRAMA DE INGENIERIA

ARS'RRP'cam.

I N D I C E

	PAGS.
Introducción.	1
I.- Reseña histórica de los puentes.	3
II.- Descripción de la obra.	11
III.- Procedimiento constructivo de la subestructura :	
a) Generalidades.	20
b) Secuencia de construcción.	27
IV.- Procedimiento constructivo de la superestructura :	
a) Generalidades.	39
b) Secuencia de construcción.	65
V.- Análisis de un precio unitario.	88
Conclusiones.	97

INTRODUCCION

Es para mí, motivo de gran satisfacción haber llevado a cabo la presente tesis, ya que significa la culminación de una etapa muy importante en el desarrollo de mi vida personal y el inicio de otra, de mayor responsabilidad, como lo es la etapa profesional. Por lo cual he puesto todo el empeño para que tenga la utilidad prevista y que de alguna u otra manera pueda ayudar a las personas que posean el interés de leerla.

La tesis trata de dar a conocer todo lo referente al procedimiento constructivo de la subestructura y superestructura del Puente Coatzacoalcos II, con la finalidad de que el lector pueda conocer y entender cada uno de los pasos que se siguen para realizar una obra como ésta, de tanta envergadura y trascendencia.

Además, se muestra una reseña de la evolución de los puentes a través de la Historia, con el fin de tener un mejor concepto de lo que han representado en el desarrollo de la humanidad.

Para complementar mejor el tema, se incluye el análisis de un precio unitario, ya que es sumamente importante conocer los costos, que son factores decisivos en la construcción de la obra y en el buen manejo de una empresa.

"Queremos que se vean los puentes como nosotros los vemos no como simples o prosaicos objetos útiles y económicos, - sino como algo bastante más significativo e inspirador.

Porque un puente es algo más que una cosa de acero y piedra: es la concreción del esfuerzo de cabezas, corazones y manos humanas.

Un puente es el símbolo del heroico esfuerzo de la humanidad hacia el dominio de las fuerzas de la naturaleza. Un puente es un monumento a la tenaz voluntad de conquista del género humano.

Los puentes simbolizan ideales y aspiraciones de la humanidad. Salvan las barreras que nos separan y juntan pueblos, - comunidades y naciones en unidades más íntimas.

Acortan distancias, aceleran el transporte y facilitan el comercio. Soportan sus cargas para aligerar las tareas de los hombres. Abastecen las necesidades de débiles y poderosos. Son esfuerzos conjuntos de diseñadores y operarios, de ciencia y destreza. Conforman la visión iniciativa de las comunidades en monumentos útiles, dedicados al bienestar de futuras generaciones".

David B. Steinman

I.- RESEÑA HISTORICA DE LOS PUENTES.

Signo o señal de los tiempos, los puentes han jugado un papel primordial en el dominio que el hombre ha buscado sobre la naturaleza desde las más remotas edades. Convertidos en fenómenos inherentes al paisaje común, aparecen por doquier como representación histórica de un hecho, llámese éxito o fracaso en el sentir individual del constructor, o participación en el desenvolvimiento de la evolución misma del hombre dentro del devenir social.

Los puentes son un índice de civilización. Con las cada vez mayores necesidades de intercomunicación y con los avances concomitantes en la tecnología constructiva, el desarrollo de la construcción de puentes ha estado marcado por un progreso rápidamente acelerado. En este siglo se ha logrado mayor avance en la ciencia y el arte de la construcción de puentes que en todos los siglos precedentes.

En toda esta sorprendente evolución de puentes, de primitivos a modernos, de simples a complejos, de pequeños a gigantescos, ha habido un espíritu unificador dominando a los constructores de puentes a través de los siglos. Ha sido un espíritu de visión, de invención, de coraje, de sacrificio y de dedicación.

Ante el obstáculo aparentemente insalvable de una corriente o un despeñadero, el hombre aguza el ingenio. En forma primitiva, el alto en el camino es vencido mediante uno de los tres métodos: el árbol que une las orillas, las ramas colgantes que permiten una suspensión adecuada, o las rocas caídas amontonadas a la manera de un arco accidental.

En el margen de la historia inicial, la vida sedentaria impulsa hacia la necesidad de una comunicación fácil y perenne. Los lugares y los grupos humanos se acercan gracias a esta fábrica de piedra, ladrillo, cemento, madera, hierro y otros materiales a la cual los latinos bautizan bajo el nombre de pons o pontis, hoy en día y en el idioma castellano reconocida como puente.

Desde las hermandades de constructores de puentes en la Edad Media, a los ingenieros de hoy, los que conciben y crean puentes para la raza humana, lo han hecho con un gran espíritu de dedicación. Construían, no monumentos a ellos mismos, sino duraderos instrumentos al servicio de las generaciones posteriores.

CONSTRUCCION DE PUENTES MODERNOS

En Europa y en los Estados Unidos los puentes de grandes claros se resolvieron durante muchos años con armaduras

metálicas y estructuras colgantes; pero a partir del año de 1950, con la aplicación del concreto presforzado y la sección cajón, se desarrolló principalmente el método de doble voladizo, ya sea con segmentos precolados o totalmente colados en el lugar, construyéndose a partir de las pilas hasta alcanzar la mitad de los claros adyacentes. Este método de construcción se puede adoptar para construir puentes de claros múltiples eliminando las obras falsas en cauces profundos y ríos navegables, sin que la construcción se interrumpa por factores climatológicos.

Los puentes de concreto de grandes claros pueden clasificarse en precolados y colados en sitio, y en base al procedimiento de construcción, en voladizos sucesivos balanceados y lanzados.

El método de construcción de voladizos sucesivos balanceados consiste en la construcción de segmentos a partir de una pila, de una manera equilibrada a cada lado de ella hasta alcanzar la mitad del claro y se logra la unión con un medio claro previamente construido desde la pila anterior. Este procedimiento se repite tantas veces como sea necesario hasta completar la estructura.

Una reciente aplicación para la construcción de puentes en voladizo es la incorporación de los cables atirantados con

los cuales se soportan las dovelas; se ha demostrado que es económico llegar a construir puentes de dovelas con cables atirantados, con claros hasta de 400 m o mayores, por lo que en muchos casos, estos proyectos han sustituido a los proyectos de puentes colgantes.

El procedimiento de los puentes lanzados consiste en prefabricar tramos de la superestructura, del orden de 20 m, en uno de los accesos de la obra y por medio de gatos hidráulicos se empujan del primer apoyo hacia los siguientes, repitiéndose esta operación hasta cubrir la longitud total del puente. Para permitir el movimiento de la superestructura sobre la subestructura, se utilizan apoyos a base de acero, cromo-níquel y teflón, y para reducir los grandes momentos negativos se adiciona en el extremo una trabe metálica.

En la siguiente tabla se describen algunos de los puentes más importantes construidos con los procedimientos mencionados.

NOMBRE DEL PUENTE	LOCALIZACION	CARACTERISTICAS DE LA SUPERESTRUCTURA							
		LONG. TOTAL	LONG Y No. DE CLAROS	ANCHO TOTAL	SEC. TRANSV.	PERALTE	ESPACIO LIB. VERT.	TIPO DE CONSTRUCCION	AÑO
VEJLE FJORD	Veje, Dinamarca	1710.15 m.	17 claros; 1-67.9 m. 14 de 110, 1-68.75 1 de 33.3 m.	26.60 m.	cajón de una celda.	Variable 6m en pilas y 3m al centro	40 m.	tramos continuos de concreto pteg forzado, construido en doble voladizo en el lugar	1970
LEZ	Comme vi-liers Francia	636.5 m	5 claros; 1-105.33 1-172, 1-74. 17, 1-172 -- 1-113 m.	19.55 m.	cajón de dos celdas.	variable 5m en pila, 43.5 al centro		tramos continuos de concreto pteg forzado en doble voladizo	1970
TIJL	Tiel Holanda	1419 m.	15 claros, 10-78.5; 2.95m,- 1-267, 2 de T. 1.5	27.54 en accesos -- 31.54 zona de cables.	dos cajones de una celda	3.5 m.	tramos continuos de concreto pteg forzado en doble voladizo con 3 tramos atirantados	1974	
WIMMACK TALBUCK	Stuttgart - Alemania	580 m.	13 claros de 43.0 m.		2 cajones de una celda		tramos continuos de concreto pteg forzado colado en margen y empalme	1976	
BOURANE	Noves Francia	1278.4 m.	15 claros, 1-58.9, 8 de -- 58.5, 1-143.5, 1-320, 1-143.5 1-70, 1-55, -- 1-39	19.2	cajón de una celda	3.8 m.	tramo continuos de concreto pteg forzado en doble voladizo atirantado en su tramo principal	1977	

Puentes Modernos y sus Características

NOMBRE DEL PUENTE	LOCALIZACION	CARACTERISTICAS DE LA SUPERESTRUCTURA							
		LONG. TOTAL	LONG Y No. DE CIAROS	ANCHO TOTAL	SEC. TRANSV.	PERALTE	ESPACIO LIB. VERT.	TIPO DE CONSTRUCCION	AÑO
RAEINBRUKE DUSSELDOR ALEMIA	Dusseldorf Alemania	1147.25	14 claros 13-60 y 1-367.25	41 m.	2 cajones de una celda			concreto presfor- zado colado en - el lugar cons- - truido tramo por tramo con cámara corrediza y tramo principal de ag- ro atirantado.	
WALBRUCKE RO TINWELL NE--- CKARBURG	Stuttgart Alemania	364.98	14 claros	31 m.	2 cajones - de una celda	2.3 m	94.7m	concreto presfor- zado tramo prin- cipal formado por un arco consti- tuido en cantila- ver y superestruc- tura colada en - margen y empuja- da.	
MALLINGSUN	Salling Dinamarca	1683 m.	19 claros 2-51m 17-93 m.	16 m.	cajón de una celda	variable de 2.5 en el centro y 5.5 en pilas	26 m.	concreto presfor- zado dovela pre- coladas y doble voladizo.	

CONTINUACIÓN DE LA TABLA

CONSTRUCCION DE PUENTES EN MEXICO.

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

En el país hace 50 años, para los puentes carreteros, - la carga móvil de diseño correspondía a un camión tipo H 15 de 13600 kg. Los cruces se elegían generalmente normales a la corriente, obligando así el trazo de la carretera, lo que originaba en muchas ocasiones mayores desarrollos de la ruta y alineamientos defectuosos.

La estructuración se resolvía generalmente con cimentaciones superficiales, subestructuras a base de estribos con aleros, pilas o caballetes y superestructuras con tramos libremente apoyados de claros máximos de 15 m. para traveses de concreto reforzado, de 20 m. para las de acero remachadas y de 50 m. para armaduras metálicas. El ancho de calzada era de 5.70 m. para el paso de dos vehículos, que se debía al bajo volumen de tránsito.

En la actualidad, la carga móvil de diseño corresponde a dos o más líneas de vehículos HS-20 con peso de 32688 kg. - cada una, y el ancho de calzada mínima para dos líneas de - tránsito es de 7.50 m. El cruce queda definido por el trazo - de la línea, lográndose una mayor comodidad y seguridad para los conductores. El estudio para elegir el cruce, se lleva a cabo conjuntamente con el proyecto geométrico de la línea, - buscando conciliar la mejor solución de ésta, con las condi-- ciones topográficas y geológicas del cruce.

Los materiales más empleados son el concreto, con resistencias de 250 a 400 kg/cm²; el acero en varillas para refuerzo, y alambres o torones para presfuerzo que tienen esfuerzos de ruptura de 6000, 16000 y 19000 kg/cm².

La estructuración se resuelve con cimentaciones superficiales o profundas a base de pilotes precolados de concreto - reforzado, pilotes colados en el lugar y cilindros o cajones; las subestructuras, con estribos y pilas de concreto reforzado o presforzado; la superestructura a base de trabes y losas libremente apoyadas, Gerber o continuas, con claros hasta de 125 m.; y últimamente, en la construcción de los puentes de - Coatzacoalcos y Tampico se utiliza el procedimiento de doble voladizo con cables atirantados.

II.- DESCRIPCION DE LA OBRA

ANTECEDENTES

Para la comunicación hacia el sureste del país es necesario cruzar el Río Coatzacoalcos y antes de la construcción de un puente este cruce se realizaba mediante un chalán instalado en el lugar conocido como Nanchital, cercano a la ciudad de Coatzacoalcos. Este chalán transportaba vehículos automotores y carros de ferrocarril del sureste. El día 18 de marzo del año de 1962 se da paso por un puente definitivo al inaugurarse ese día el puente Coatzacoalcos, con longitud total de 966 m. y dos carriles de circulación para vehículos y una vía de ferrocarril; uno de sus tramos es levadizo, de 66 m. de claro, para permitir el paso de las embarcaciones que se dirigen a Minatitlán. El volumen de tránsito que cruzó por el puente el primer año fué del orden de 1,500 vehículos, con una composición de 60% de automóviles, 30% de camiones y 10% de autobuses y motocicletas. El tramo levadizo era operado una vez al día, con una duración de 30 minutos.

En el año de 1972 ocurrió un accidente en este puente al chocar un barco contra una de las pilas, derrumbando dos tramos de 30m. de claro, lo que originó una suspensión en el servicio de 30 días, tiempo que duró su reparación. Lo anterior ocasionó graves daños a la economía regional y puso de mani---

fiesto la conveniencia de contar con otro puente para cruzar -- el río.

Para el año de 1980 el volumen de tránsito que utilizó -- el puente se había incrementado notablemente, llegando a 17 -- mil vehículos diarios, ocasionando demoras en el cruce hasta -- de una hora, que se agravaban con el funcionamiento del tramo levadizo, no solamente por el importante volumen vehicular ca-- rretero, sino también por el aumento del tráfico fluvial. Esta situación motivó que desde 1978 se iniciaran los estudios nece-- sarios para definir el proyecto de un nuevo puente.

LOCALIZACION (fig. 2.1)

Después de analizar diversos sitios para el nuevo cruce y sus accesos, desde las proximidades del puente existente has-- ta aguas arriba de la ciudad de Minatitlán, se eligió aquél -- que presentó las mejores características geológicas para la ci-- mentación y topográficas para la longitud de la estructura. El sitio se llama Pueblo Nuevo y en esa parte el río presenta una curva muy pronunciada, aproximadamente a 20 km. de la desembo-- cadura del río en el Golfo de México.

También se tomó en cuenta para la elección del cruce, el costo de los tramos carreteros en los accesos, los cuales tie-- nen aproximadamente 15 km. en cada margen, buscando alojarlos en la menor longitud dentro de la zona pantanosa. Adicional--

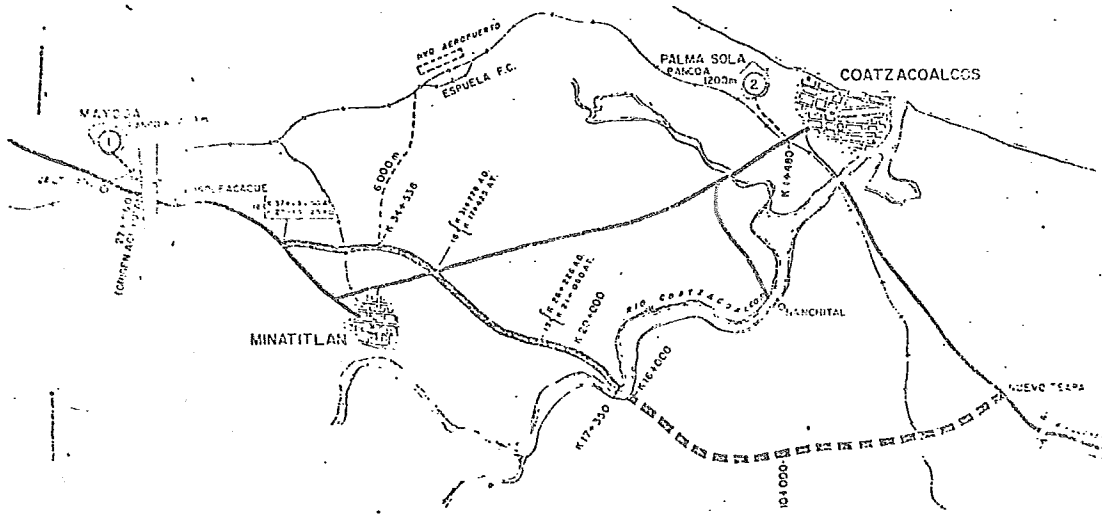


FIG. 2.1 LOCALIZACION DEL CRUCE Y LOS ACCESOS

mente los estudios para el desarrollo industrial, portuario y de asentamientos humanos propiciaron la elección de esta ruta. Esta localización constituye, además, un libramiento para la zona conurbada Minatitlán-Coatzacoalcos, favoreciendo así una comunicación directa entre el centro y el sureste del país.

ELECCION DEL TIPO DE ESTRUCTURA

Tomando en cuenta los problemas y restricciones derivadas de las características del puente en servicio y los volúmenes de tránsito carretero y fluvial, se definió que el nuevo puente debería permitir el paso simultáneo de vehículos y embarcaciones. Que siendo el ambiente de la zona hostil, altamente corrosiva, por efecto de las emanaciones de las industrias petroquímicas, de la salinidad y la frecuencia de vicutos violentos, la estructura del puente debería de ser de concreto, material más resistente a la agresividad atmosférica y con mejor comportamiento a la estabilidad aeroelástica. Por otra parte y para evitar un posible accidente por colisión de alguna embarcación, no era conveniente alojar apoyos de la estructura dentro del cauce.

Con las premisas anteriores se elaboraron dos anteproyectos; uno con el tramo principal resuelto por el procedimiento de doble voladizo y claro sobre el cauce de 250 m., y el otro, del tipo atirantado con claro de 288 m. En el primer caso la

superestructura requería de un peralte máximo sobre las pilas, de 15 m. y en el segundo, un peralte constante de 3 m. Del análisis detallado de estas alternativas se eligió como más ventajosa y económica la del tipo atirantado. Adicionalmente y para la solución elegida se estudiaron diversas soluciones, principalmente en lo que se refiere a la forma de atirantamiento y a la longitud de los tramos laterales, inmediatos al claro principal, el de los 288 m. dedicando especial atención al aspecto arquitectónico particular de los elementos estructurales y a la del conjunto del puente, buscando una solución estética.

RESTRICCIONES Y DATOS BASICOS DEL DISEÑO.

De acuerdo con las características de las embarcaciones, se fijó el siguiente gálibo, como mínimo, un espacio libre vertical de 35 m. y el horizontal de 180 m.

Los estudios de ingeniería de tránsito determinaron que la estructura debería contar con cuatro carriles de circulación, dos para cada sentido y que la carga móvil fuera del tipo HS-20 de las normas AASTHO, que en este caso también satisface los últimos requerimientos establecidos para las cargas del nuevo Reglamento de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

CARACTERISTICAS TECNICAS. (Fig. 2.2)

La longitud total del puente es de 1170 m. con alineamiento recto, 472 m. corresponden al viaducto de acceso por la margen izquierda, constituido por tramos de 60 m. de claro y con una pendiente del 5.28 %; el tramo principal tiene 698 m., es atirantado, compuesto de 7 claros, con longitudes de 30.23, 49.42, 112.55, 288.00, 112.35, 60.00 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 viento y sismo y para no ampliar en forma importante el ancho del tablero, se escogió un mástil del tipo "Y" invertida.

La cimentación básicamente es de tipo profundo, con pilotes de 2.50 m. de diámetro, colados en el lugar y longitudes hasta de 30 m. para las pilas del tramo principal, y cilindros de concreto reforzado de 6 m. de diámetro exterior, con profundidades de hincado del orden de 35 m. en la parte del viaducto. En el estribo No. 1 y en las pilas 2 y 3, la cimentación es por superficie, mediante zapatas de concreto reforzado, y en el estribo No. 15 con una combinación de cilindros y pilotes colados en el lugar, de 1.50 m. de diámetro.

MARGEN DEHALLA
ALCANTARILLAS

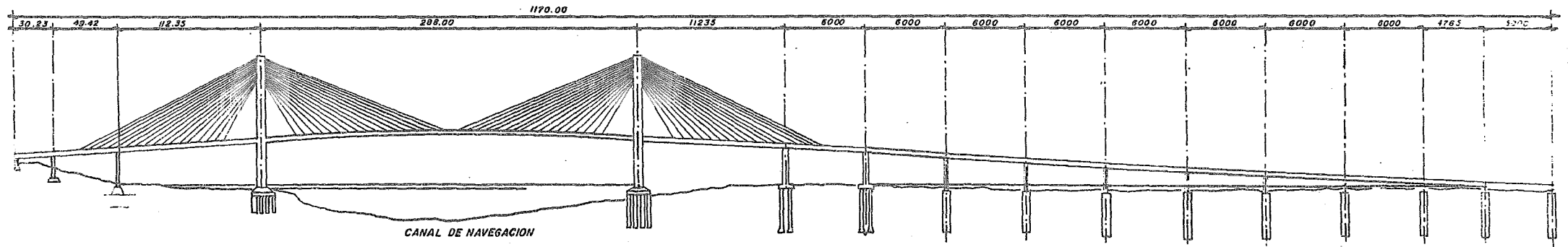
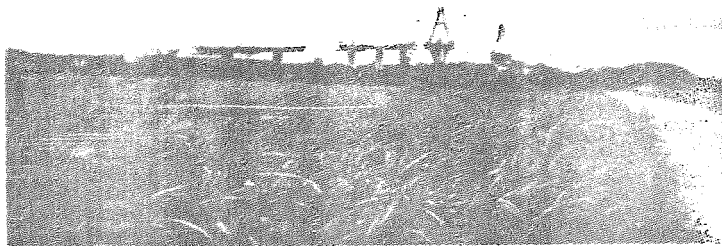


FIG. 2.2

FIG 2.2 PUNTE COATZACOALCOS II



VISTA PANORAMICA DEL PUENTE COATZACOALCOS II

En general, las pilas son las clásicas de sección rectangular huecas, reforzadas, y presforzadas aquellas que están sujetas a efectos de mayor consideración, excepto las que corresponden al tramo principal. En este caso tienen una altura total de 97 m. 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 tablero es de sección cajón, presforzado, de 3 m. de altura, con almas inclinadas y ancho total de 18.10 m., para alojar dos calzadas de 7 m. cada una, separadas por un camellón de 1.50 m. y banquetas laterales de 1.30 m.

La construcción del tablero se ha previsto con el procedimiento clásico del doble voladizo, utilizando dos carros móviles, para colar dovelas simétricas de 3.53 m. de longitud. Por lo que respecta a los tirantes, sus extremos quedan anclados en el tablero, a cada 7.06 m. coincidiendo con las tornapuntas, y en su parte central y superior, cruzan y se fijan en el mástil.

III.- PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA SUBESTRUCTURA.

a) GENERALIDADES

Como antecedente de la cimbra deslizante se puede decir, que a principios de siglo, se empezaron a construir estructuras verticales de concreto utilizando cimbra convencional. A medida de que se depuraron los sistemas constructivos y se trataron de abatir costos, la dimensión del molde para el colado de estructuras verticales se reducía para lograr un mayor uso del mismo y por lo tanto lograr una mayor economía.

Esto trajo como resultado que se abatieran los costos -- del molde, pero que se incrementaran los costos de obra falsa, tendidos, y que surgieran problemas de juntas frías, apariencia, etc; con estos mismos problemas y conforme la técnica se desarrollaba en Europa, alrededor de 1920, se les ocurría la idea a unos constructores, que teniendo un molde de suficiente altura para permitir un lapso de tiempo suficiente para que el concreto de la parte inferior fragüe cuando se esté terminando de llenar el molde y moviendo este molde por métodos mecánicos hacia arriba, se pueda lograr un colado continuo eliminando los problemas antes mencionados.

Se determinó que con un molde de 1.50 m. de altura y gatos mecánicos de tornillo espaciados en tal forma que fueran -

capaces de romper la fricción que se origina entre el concreto fresco y el molde, se lograban los resultados deseados.

Estos gatos que se diseñaron, trabajan jalando la cimbra hacia arriba mediante un apoyo ajustable que se logra sobre una varilla lisa que se desplanta desde la cimentación y se prolonga hasta la altura final del colado; y se le denominó cimbra deslizante.

Este método se usó extensamente durante varios años, pero los problemas empezaron a surgir cuando en obras de gran tamaño donde 100 ó 150 gatos eran usados y se necesitaba un operador para cada 5 ó 6 gatos, que tenían que organizar cuadrillas de 20 a 30 operarios para manipular estos gatos, estos operarios por 3 turnos significaba que 60 ó 90 hombres deberían ser contratados. Esta gran cantidad de personal acarrea una serie de problemas de supervisión y organización e incluso de contratación.

Este sistema desde el punto de vista técnico también presentaba algunos problemas, pues al operar los gatos en una forma independiente hacía que la cimbra se levantase en una forma irregular deformando el molde. Estas deformaciones de la cimbra ocasionan irregularidades en el acabado, causan desplomes y además originan agrietamientos en el concreto recién colado.

Después de 1940, se empezaron a desarrollar sistemas hidráulicos de levantamiento que sustituyeron a los gatos mecánicos. Durante varios años aparecieron equipos que pretendían una completa mecanización y hasta una completa automatización de la operación del deslizado, eliminando los problemas antes mencionados. A la fecha se han desarrollado al máximo gatos y sistemas con los que se pueda lograr una operación a base de un operador y un equipo totalmente automático.

DESCRIPCION DE LA CIMBRA (fig. 3.1)

Para el diseño de la cimbra, en un plano horizontal, solamente se deben de tomar en cuenta los empujes de concreto y en un plano vertical es importante que el molde sea relativamente rígido, puesto que en esta forma se evita que haya deformaciones.

DESCRIPCION DEL SISTEMA DE LEVANTAMIENTO (fig. 3.2)

El equipo de levantamiento como ya se ha mencionado, consiste en gatos hidráulicos operados por una bomba eléctrica. El émbolo que trabaja por medio de presión hidráulica al ser accionado, empuja sobre unos dientes de acero que apoyan en la varilla sobre la cual va caminando el gato. Estos gatos generalmente operan a una presión de 100 kg/cm², y cada uno tiene capacidad de carga de 3 tons. La varilla sobre la cual se apoya el gato es una redonda, de una pulgada, con sus extremos ros-

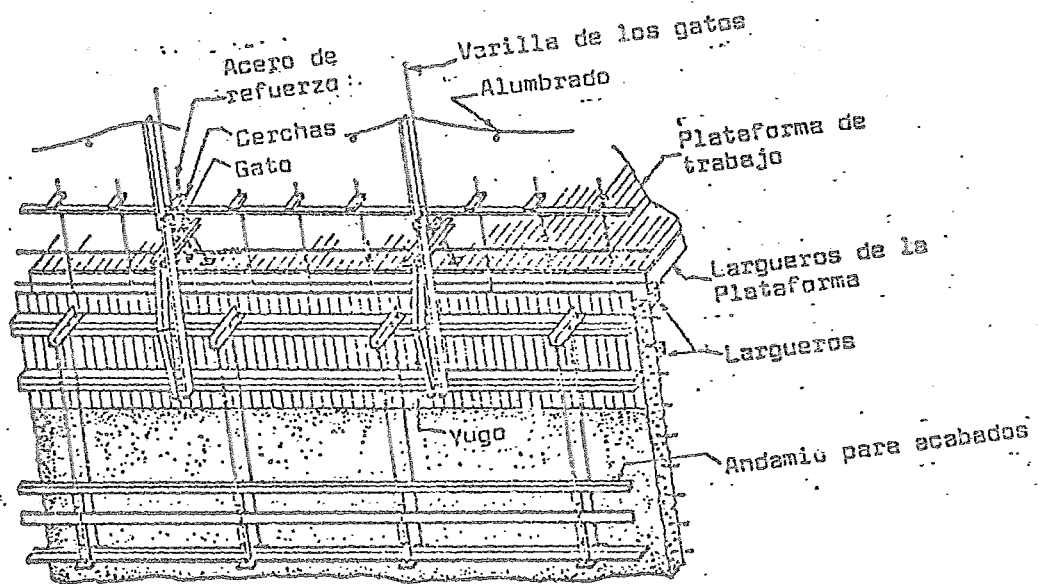


FIG. 3.1 Cimbra deslizante típica.

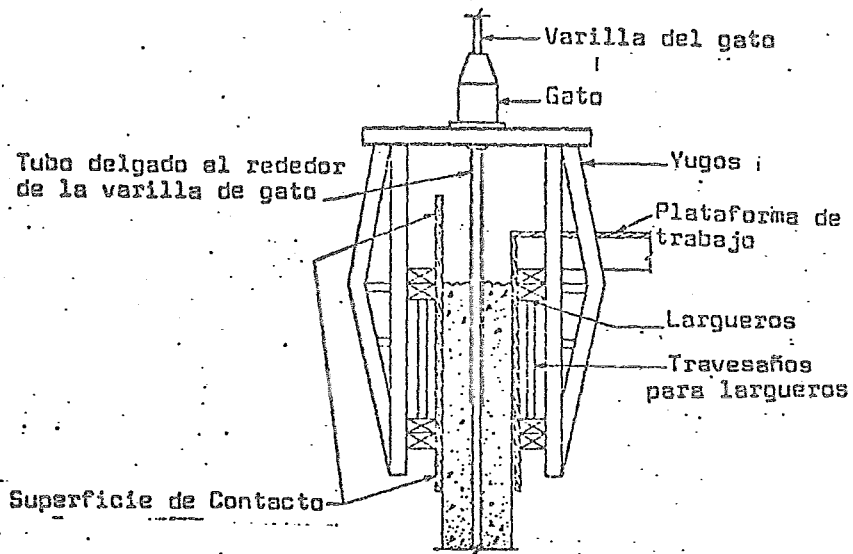


FIG. 3.2 Sección Transversal de
 cimbra deslizante

cados para así permitir que se vayan ensamblando conforme la cimbra va deslizándose. El levantamiento de la cimbra con el gato, se logra a través de unas piernas metálicas, las cuales se apoyan sobre unas cerchas de molde. La carrera máxima del símbolo es de una pulgada y una vez que este ha sido accionado regresa a su posición original por medio de resortes. En este momento, un segundo juego de dientes, detienen el gato en su posición.

CONTROL DE LA CIMBRA DESLIZANTE.

Para poder controlar la operación del deslizado se ha diseñado un sistema de niveles de agua, instalado un nivel de manguera en cada gato. En esta forma se puede ver fácilmente si algún gato se atrasa desnivelando la cimbra. Estas irregularidades en la cimbra ocasionan desplomes y deformaciones de la estructura. También se pueden colocar plomos en las esquinas o puntos determinantes que se checan cada 4 horas y para detectar posibles giros se marcan en el exterior de la cimbra y son checados con un tránsito dos veces diarias.

OPERACION Y DESLIZADO DE LA CIMBRA

El accionamiento del equipo, así como el deslizado de la cimbra son operaciones que se ejecutan en forma sumamente sencilla y deben principalmente programar los trabajos de habilitado y armado de fierro y la colocación del concreto en el molde deslizante con la debida proporción para lograr que ellos siempre precedan al paso de la cimbra.

Así mismo es fácil proveer la colocación de cualquier elemento incrustado para formar vanos en los muros de la estructura; posteriormente ligar a éstos, elementos estructurales horizontales, ménsulas, etc.

La fabricación del concreto se hace en obra utilizando revolvedoras, o bien se puede usar concreto premezclado, programando perfectamente las entregas en la obra.

Lograda una correcta proporción en la ejecución sistemática de las operaciones de armado de fierro, así como el suministro y colocación del concreto en la cimbra, el deslizamiento de ésta, se puede lograr con avances hasta de 30 cm. por hora.

Justamente con la cimbra deslizante, unidos a ella, van ascendiendo tanto por el exterior como por el interior de la estructura elementos de andamio convenientemente seguros para permitir la ejecución de los trabajos de acabado de las paredes así como el curado del concreto.

Este sistema es de una gran versatilidad pues logra prácticamente cualquier forma de sección de una estructura. También se puede lograr variaciones por tramo en el espesor de las paredes y aún efectuar deslizamientos.

b) SECUENCIA DE CONSTRUCCION.

La subestructura del Puente Coatzacoalcos II está constituido en los apoyos 1 y 15 por estribos de concreto reforzado. Los otros apoyos son pilas de sección rectangular de 6 m de largo, 3 m de ancho y de altura variable que depende del diseño (fig. 3.3). Las pilas principales 4 y 5 son la excepción ya que su sección es variable y tiene una prolongación al llegar a la altura de la calzada donde continúa la estructura denominada pilón o mástil.

La construcción de los estribos se llevó a cabo de la manera tradicional, utilizando cimbra de madera y tomando en cuenta las juntas de construcción.

Para la construcción de las pilas se emplearon moldes deslizantes, cuyo movimiento ascendente se obtuvo mediante la acción de gatos hidráulicos operados eléctricamente, con velocidad del orden de 20 a 25 cm por hora, suficiente para permitir una resistencia adecuada en el concreto.

Todas las pilas son de concreto reforzado, salvo las pilas 3 y 6, que por las reacciones provocadas por las cargas, fue necesario aplicarles un presfuerzo vertical.

En cuanto a las pilas 4 y 5 se detalla la secuencia de construcción ya que al ser de sección variable, se utilizó tanto cimbra deslizante como cimbra convencional.

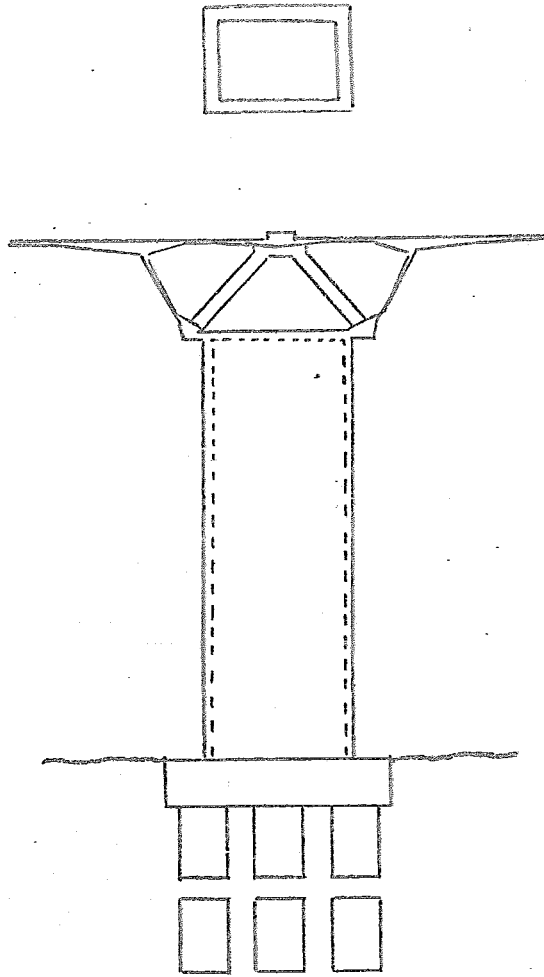
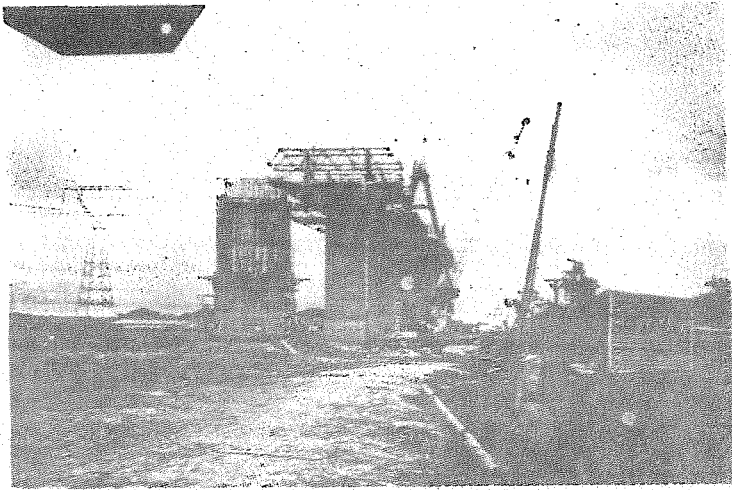
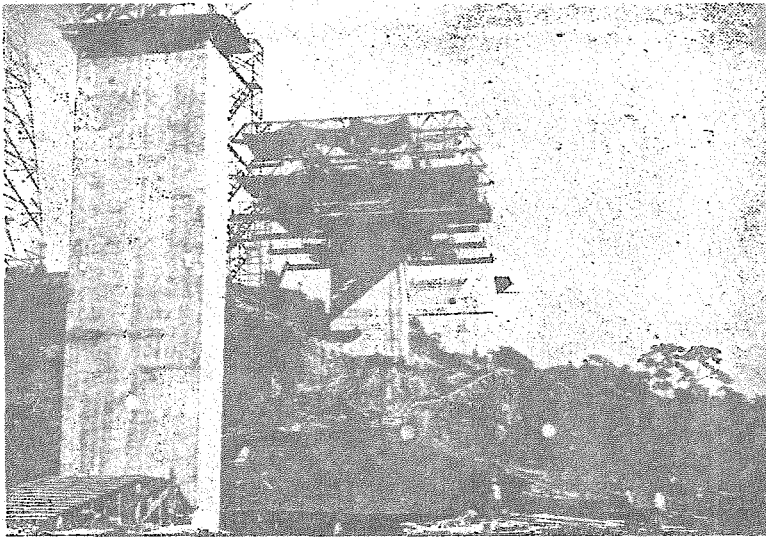


FIG. 3.3 PILAS RECTANGULARES



PILAS MARGEN IZQUIERDA



ESTRIBO Y PILAS MARGEN DERECHA

PILA 4.

- 1.- Se coló del nivel 48 al 66 con cimbra deslizante, dejando escalones en la cara interior de la pila, siendo el total de deslizado, de 18 metros (fig. 3.4).
- 2.- Se coló del nivel 66 al 71.77 con cimbra deslizante dejando vertical la cara interior de la ampliación y haciendo ajustes para dar la curvatura de la cara exterior (fig. 3.5).
- 3.- Se desmontó la cimbra interior y se subió la exterior, para impedir la adhesión de la cimbra al concreto evitando la fricción y obteniendo así mejor apariencia de las pilas; después se coló el diafragma, el cual es macizo (fig. 3.6).
- 4.- Se colocó cimbra convencional en las caras interiores, apoyada sobre el diafragma, colándose éstas junto con los muros (fig. 3.7).
- 5.- Se montó la obra falsa para el fondo de la dovela de pila, apoyándose en el diafragma. (fig. 3.8).

PILA 5.

Para esta pila, las tres primeras etapas son iguales a las descritas para la pila 4.

- 4.- Se coló del nivel 72.97 al 80.77 en tres etapas, las dos primeras de 2.40 metros y la última de 3.07 me-

tros, todo esto con cimbra convencional, ya que se tuvo que dar la forma curva a la pila (fig. 3.9).

5.- Por último, se coló en forma monolítica, desde el nivel 80.77 hasta el nivel de la calzada con cimbra normal, utilizando cables para sostenerla (fig. 3.10).

El armado de las pilas, así como la fabricación del concreto se programaron con anterioridad para lograr un mayor avance en el colado de estas estructuras.

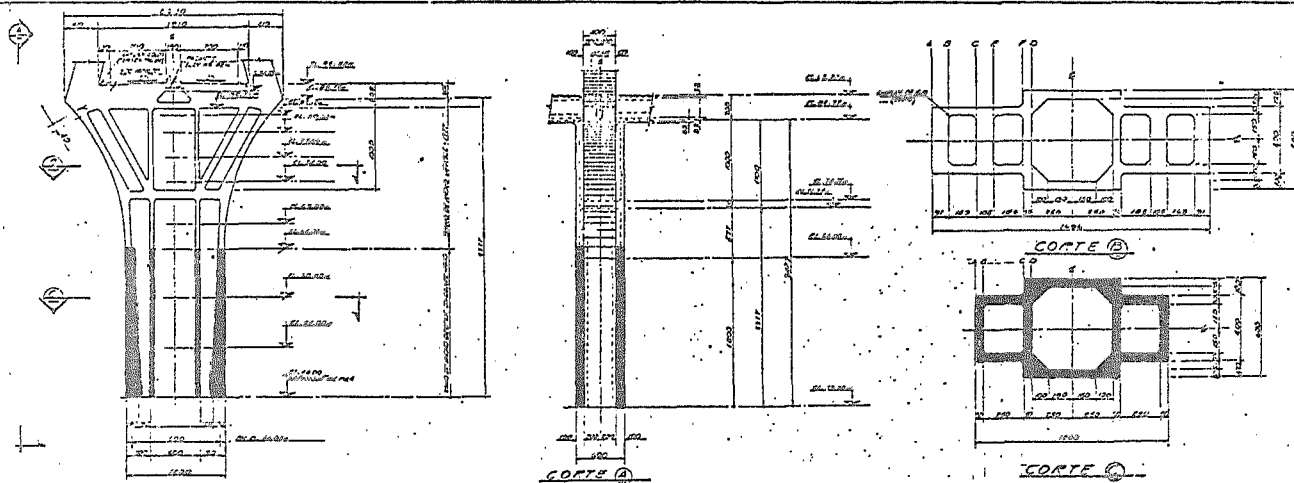


FIG. 3.4 COLADO DEL NIVEL 48 AL 66. PILAS 4 Y 5

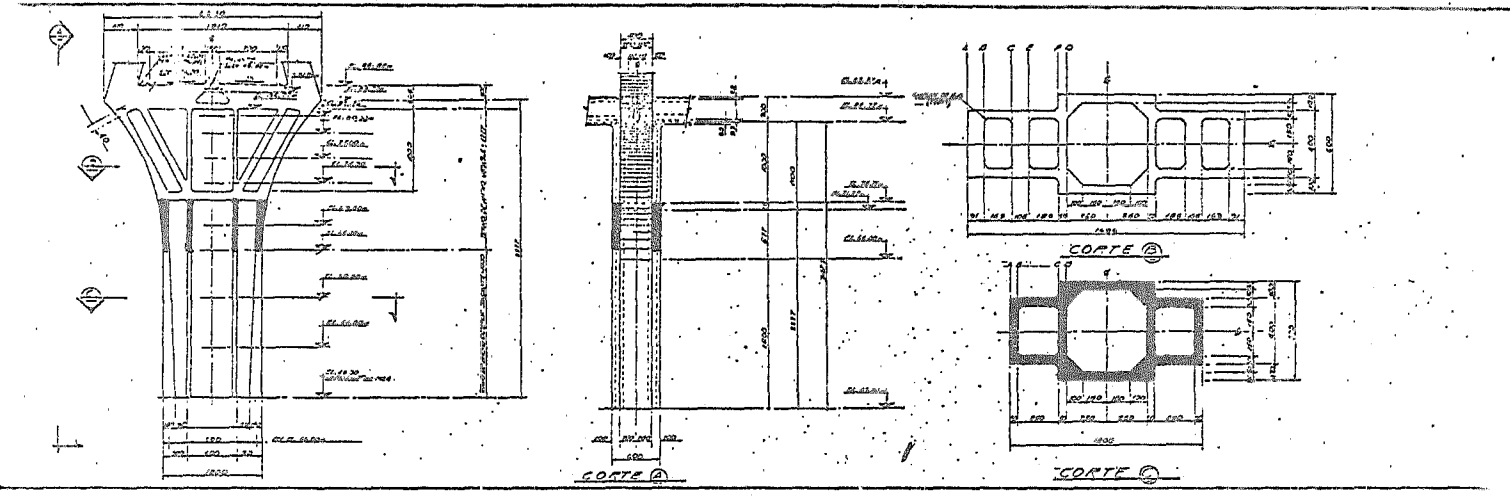


FIG. 3.5 COLADO DEL NIVEL 66 AL 71.77. PILAS 4 Y 5

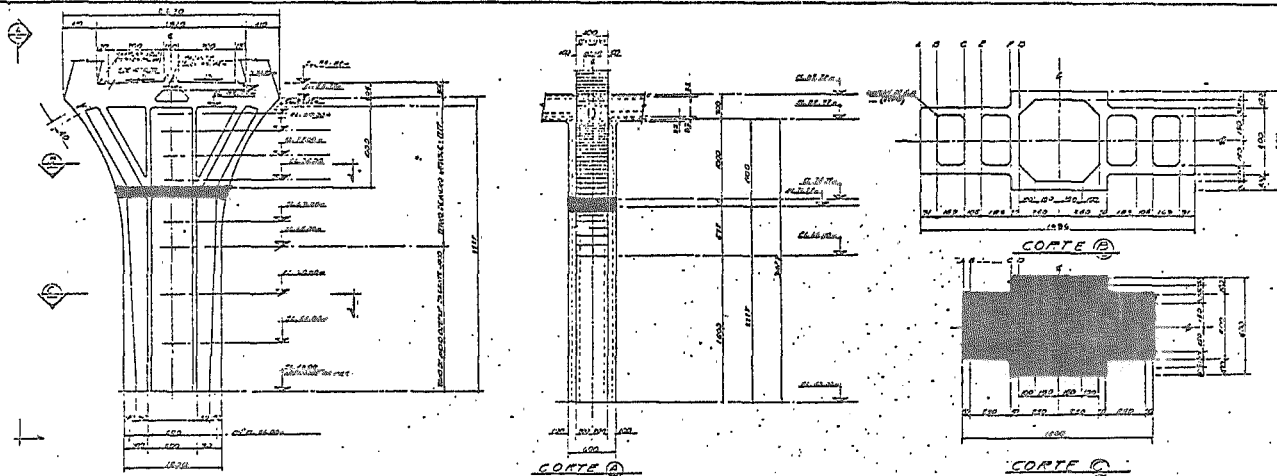


FIG. 3.6. COLADO DEL DIAFRAGMA. PILAS 4 Y 5

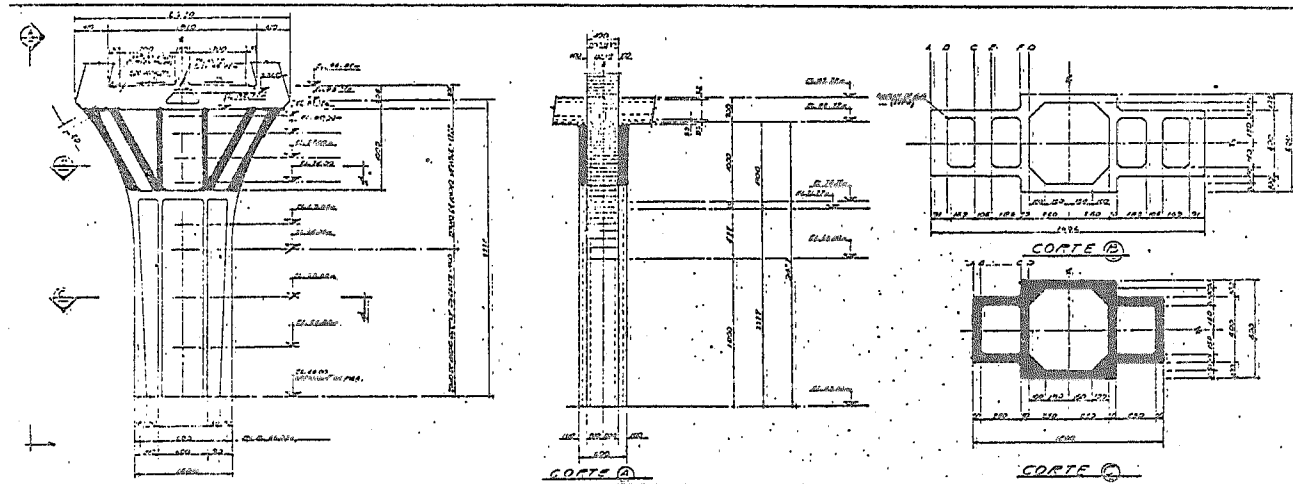


FIG. 3.7 COLADO DE MUROS. PILA 4

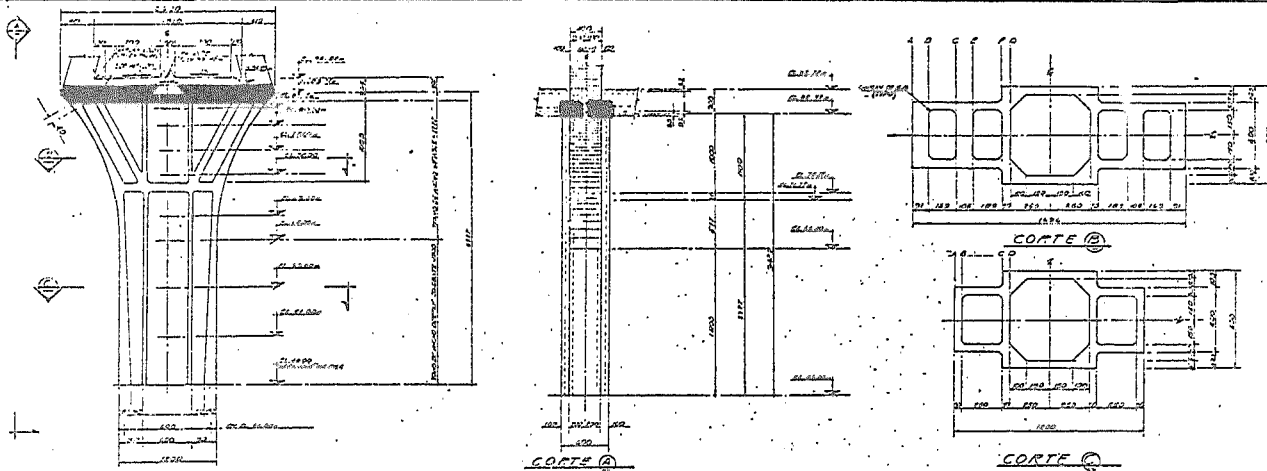


FIG. 3.8 COLADO DEL FONDO DE LA DOVELA. PILA 4

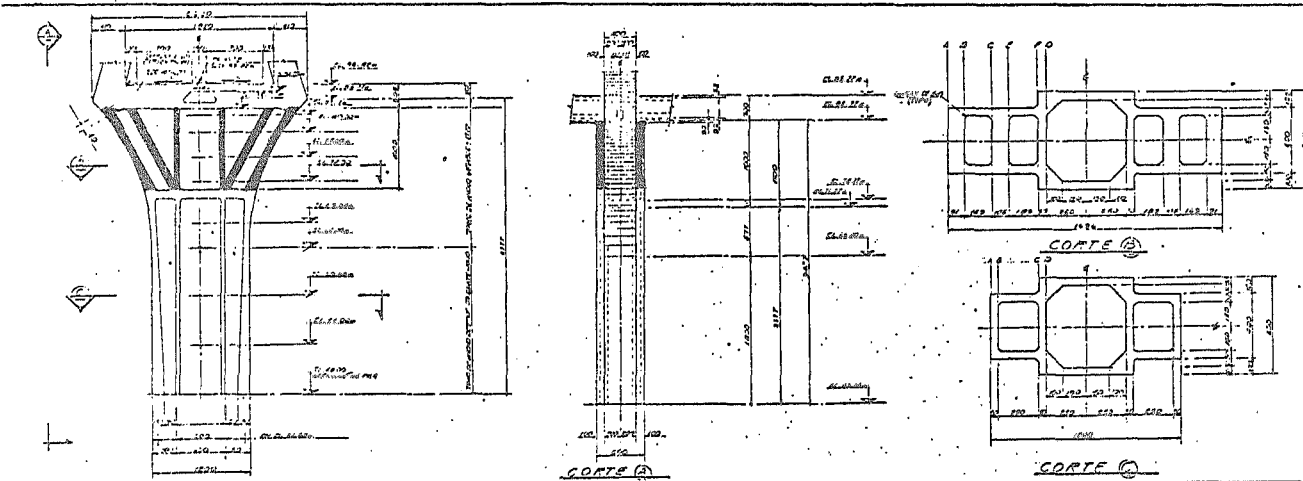


FIG: 3.9 COLADO DEL NIVEL 72.97 AL 80.77. PILA 5

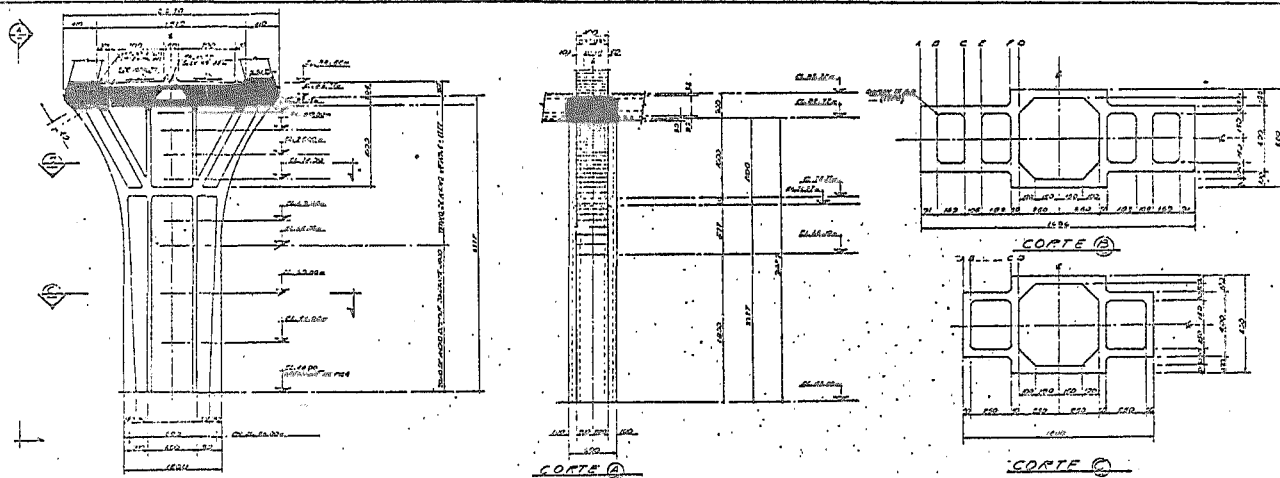


FIG. 3.10 COLADO A PARTIR DEL NIVEL 80.77; PILA 5.

IV.- PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA SUPERESTRUCTURA.

a) GENERALIDADES.

Los puentes pueden ser clasificados según el método de construcción en:

- 1) Puentes de vigas prefabricadas lanzadas.
- 2) Puentes empujados.
- 3) Puentes contruidos sobre cimbras autoportantes.
- 4) Puentes contruidos por voladizos sucesivos.

En la tabla A se muestran los rangos de utilización de estos métodos.

PROCEDIMIENTO POR VOLADIZOS SUCESIVOS. (fig. 4.1)

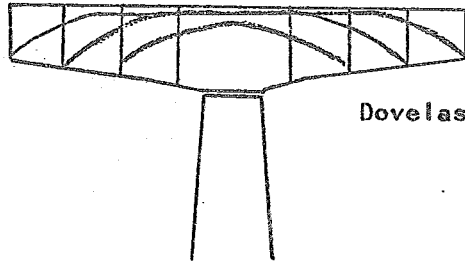
La construcción por voladizo consiste en construir el tablero de un puente, avanzando por tramos sucesivos, haciendo soportar la parte ya construida, el peso propio del tramo siguiente y, en su caso, el peso de los encofrados o de los aparatos que permitan su ejecución. Cada tramo, llamado dovela, se une al precedente cuando adquiere una resistencia suficiente. Entonces se convierte en autoportante y sirve de base para un nuevo avance. La estabilidad de la ménsula así constituida se asegura en cada etapa de la construcción por cables de postensado, de longitud creciente, dispuestos en la losa superior de la viga. Las dovelas pueden ser cons-

VANOS (mts)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	
VIGAS PREFABRICADAS																				
VOLADIZOS																				
EMPUJE																				
CIMBRA AUTOLANZABLE																				

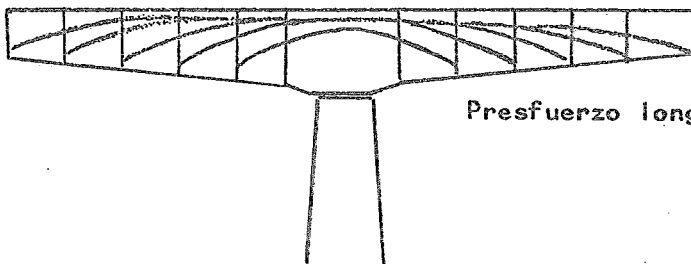
TABLA "A" CAMPO DE APLICACION DE LOS DIFERENTES METODOS



Dovela sobre pila



Dovelas en doble voladizo



Presfuerzo longitudinal

FIG. 4.1 PROCEDIMIENTO DEL DOBLE VOLADIZO

truidas "IN SITU" en encofrados móviles. Pueden igualmente ser prefabricadas, transportadas y puestas en su lugar por medio de dispositivos apropiados.

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

- Obras con pilas muy altas y que franquean valles largos y profundos, (cimbras caras).
- Ríos con crecidas, (cimbras peligrosas).
- Necesidad de dejar libre un gálibo de circulación o navegación, (cimbras molestas).

La técnica del voladizo presenta igualmente otras ventajas :

- Reducción y mejor utilización de los encofrados, limitados a la longitud de una dovela.
- Aumento del rendimiento de la mano de obra, debido a la mecanización de tareas en un ciclo repetitivo.
- Flexibilidad de ejecución.

El campo de aplicación de la construcción por voladizos abarca claros entre 60 y 150 m. La gama de claros más frecuentes está comprendida entre 70 y 90 m., pero con la utilización de tensores se alcanzan claros hasta de 400 m.

DISPOSITIVO MOVIL DE COLADO. (fig. 4.2)

En la construcción de dovelas pueden ser utilizados varios procedimientos, siendo un carro móvil soportado por el tablero, el más frecuente. Este debe cumplir una misión doble : asegurar el posicionamiento geométrico de las dovelas en el espacio, y aguantar el peso de la dovela, del fraguado del concreto y de la solidarización por postensado al elemento precedente.

El carro móvil está constituido por encofrados colgados de una estructura metálica apoyada en la parte construida del tablero. En los carros móviles, el peso de la dovela que se está colocando, se trasmite al tablero por medio de vigas longitudinales fijadas sólidamente en voladizo en el extremo de la ménsula. Las vigas longitudinales, llamadas vigas principales, están colocadas generalmente por encima de la dovela a colar, en la vertical de las almas.

Los encofrados exteriores, el fondo de encofrado, la plataforma de trabajo y las pasarelas de inspección están suspendidas de las vigas principales por medio de travesaños. Los encofrados interiores se apoyan sobre un carretón móvil que se desplaza por dentro del tablero. La estabilidad de los carros en posición de colado queda asegurada lastrando las vigas principales o por anclaje de éstas a la penúltima dovela.

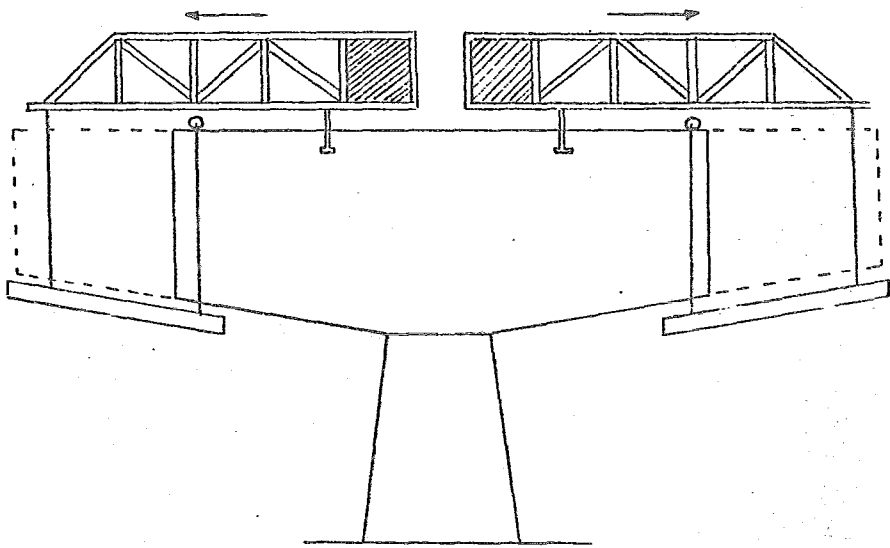


FIG. 4.2 DISPOSITIVO MOVIL DE COLADO

Las vigas principales sufren a menudo, durante el colado, deformaciones importantes, con el riesgo de que aparezcan fisuras transversales a las juntas entre dovelas. Estas fisuras se producen sobre la cara superior de la losa inferior bajo el efecto de las deformaciones del carro, debidas al peso del concreto de las almas inferiores de la losa superior. Se puede evitar este inconveniente, utilizando carros móviles - que sean suficientemente rígidos, pero estos carros son a menudo pesados y su peso muerto origina entonces el aumento - del postensado de los voladizos, así como el dispositivo que asegura su estabilidad.

Algunos carros móviles llevan vigas principales dispuestas lateralmente a lo largo de las almas exteriores de las dovelas. Esta solución despeja las superficies de trabajo y permite un fácil acceso a todas las partes a encofrar, armar y colar. El avance de los carros en posición de colado se efectúa por medio de un carretón móvil que se desplaza sobre perfiles colocados en voladizo sobre la vertical de las almas.

DOVELA SOBRE PILA.

El elemento del tablero situado sobre cada pila, llamado dovela sobre pila, se cuelga generalmente sobre un andamiaje, con el fin de servir de plataforma de montaje y de base de partida para los carros móviles. Cuando las pilas son al--

tas, o están colocadas en el agua, el andamiaje se reemplaza a menudo por ménsulas metálicas o de concreto empotradas por postensado en las cabezas de pila.

La longitud de la dovela sobre la pila está definida por las dimensiones de los carros y por el esquema de su montaje sobre la cabeza de pila. A este respecto pueden adoptarse varias soluciones:

- 1) Los dos encofrados se colocan uno al lado del otro y avanzan simultáneamente; es el esquema más frecuente, por el cual la longitud de la dovela sobre pila es de 7 a 10 m.
- 2) Los dos encofrados están unidos provisionalmente para la construcción de las primeras dovelas normales.
- 3) El segundo encofrado no se coloca, hasta la ejecución de la primera dovela normal y el avance de su encofrado.

El plazo de construcción de las dovelas sobre pila es relativamente largo, del orden de varias semanas. Generalmente se procura sacar de la ejecución de estas dovelas del ciclo de construcción de los voladizos realizándolas con suficiente antelación.

DOVELAS EN VOLADIZO.

La longitud usual de las dovelas está comprendida entre 3 y 4 m.

Las fases del colado de una dovela son las siguientes:

- Colado de la losa inferior.
- Colado de las almas.
- Colado de la losa superior.

Las dos últimas fases pueden convertirse en algunos casos en una sola.

El ritmo normal de construcción permite, con un equipo móvil tradicional, realizar un ciclo completo en una semana:

- Un día para la puesta en tensión de la dovela colada anteriormente, desencofrado y avance del carro.
- Dos días para el montaje de armaduras y cables.
- Tres días para el fraguado y endurecimiento del concreto.

Este ciclo, en el caso de dovelas de tres metros es a una velocidad de avance de 1 m. por día con un equipo móvil. Este ritmo es relativamente lento y se han empleado diferentes procedimientos para acelerarlo:

- Utilización de equipos autoportantes que despejan la parte superior de la dovela en construcción, permitiendo dos pares de dovelas por semana y por equipo.
- Aumento de la longitud de las dovelas.
- Ejecución de la sección transversal en dos fases separadas.

Los obstáculos para superar el ritmo y aproximarlos a los de construcción por dovelas prefabricadas, es la resistencia del concreto joven y los problemas de puesta en tensión.

Estos problemas pueden resolverse por:

- Tratamiento térmico del concreto.
- Resistencias eléctricas en las zonas de anclaje del postensado.
- Utilización de cabezas o almas prefabricadas.

En el caso del curado a vapor (tratamiento térmico), el concreto se calienta en su molde, en el interior del recinto en el cual circula vapor a baja presión. Se obtiene así fácilmente al cabo de dos o tres días, las resistencias a compresión necesarias para el tensado de los cables de postensado (alrededor de 250 kg/cm²); las almas pueden prefabricarse también.

Este procedimiento, que utiliza una prefabricación parcial de las dovelas por medio de elementos ligeros, ha permitido simplificar los carros de colado cuyo peso era reducido, y acortar el ciclo de construcción de tableros permitiendo la realización, incluso para la obra atirantada, de cuatro dovelas cada semana, por equipo, o sea, 12 metros de tablero.

DOVELA DE CIERRE. (fig. 4.3)

Para dar continuidad a la estructura del puente, la solución consiste en unir las ménsulas, mediante el colado o co

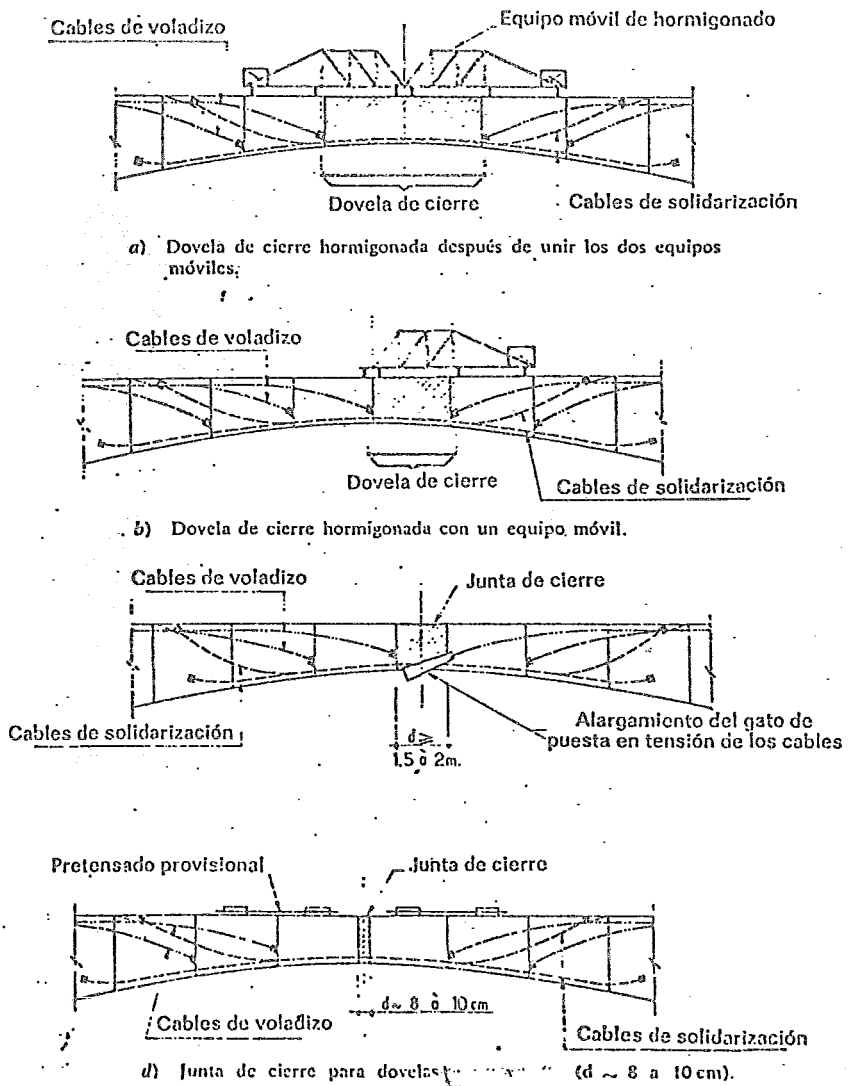


FIG. 4.3 TIPOS DE DOVELA DE CIERRE

locación de una dovela, llamada de cierre, con colocación de cables de postensado que aseguren la solidarización de los voladizos.

La importancia de este tipo de dovela es que al dar - continuidad a la estructura, las deformaciones verticales - son más pequeñas que la de una obra articulada.

En el plano constructivo, existen varias formas de realizar la solidarización de los voladizos. Si las dos ménsulas se cuelan simultáneamente, la dovela de cierre se construirá uniendo los dos equipos móviles. En caso contrario, se podrá apoyar el equipo móvil sobre el extremo de la ménsula terminada, o bien reemplazándose la dovela de cierre por una junta colada en el momento de establecer la continuidad. La longitud de esta junta puede variar desde algunas decenas de centímetros hasta alrededor de dos metros (dimensión correspondiente al alargamiento del gato de tensado de los cables de voladizo de las últimas dovelas).

La continuidad de la obra queda asegurada por los cables de postensado puestos en tensión después del endurecimiento del concreto de la dovela de cierre. Estos cables, colocados en su mayor parte en la losa inferior de las vigas, originan reacciones hiperestáticas que se deben obtener para considerarlas en el cálculo del tablero.

Las condiciones de temperatura no permanecen constantes durante el periodo de endurecimiento del concreto de la dove-
la de cierre, por lo que los extremos de las ménsulas deben
empotrarse provisionalmente uno en el otro por un dispositivo
mecánico con el fin de evitar la desviación de la junta.

PUENTES ATIRANTADOS (fig. 4.4)

En el dominio de claros comprendidos entre 50 m y 150 m
y en el caso de tableros de concreto, los puentes construidos
por voladizo constituyen la solución más satisfactoria desde
el punto de vista técnico y económico. Pero, a partir de 200 m,
este tipo de obras presenta muchos inconvenientes que tienden
a anular su competitividad:

- Aumento considerable de los momentos de peso propio a
causa de la variación de inercia en las ménsulas.
- Aumento de las tensiones en la losa inferior.
- Multiplicación de cables de postensado de los voladi-
zos.

Sin embargo, es más eficaz aumentar el brazo de palanca
del postensado, separando artificialmente los cables del ta-
blero. Los cables exteriores al concreto, se comportan enton-
ces como tirantes y se apoyan sobre un mástil que asegura su
desvío.

Actualmente, los puentes atirantados no parecen ser com

petitivos en claros menores de 150 m. Para claros comprendidos entre 200 y 250 m, reemplazan de manera económica a los puentes de concreto presforzado construidos por voladizos sucesivos, con cantos reducidos de viga del orden de 2.5 a 4 m con lo que se consigue aumentar las alturas libres bajo el puente y por tanto, gálibos de grandes dimensiones. Por encima de los 250 m, en el dominio de los grandes claros, los puentes atirantados pueden competir con los puentes suspendidos, sobre los que presentan las siguientes ventajas:

- Supresión de los macizos de anclaje, de costo elevado.
- Mayor rigidez.
- Ahorro de peso en los cables.
- Ahorro de peso en la estructura.
- Mejor estabilidad aerodinámica.

El examen de los puentes atirantados permite distinguir tres esquemas tipo, en función de las características del accidente a salvar:

- 1) Cuando es disimétrico, se realizarán puentes atirantados con pilón descentrado.
- 2) Si la obra tiene que franquear dos obstáculos contiguos de dimensiones parecidas, se escogerá un puente atirantado simétrico de dos vanos.

3) El tercer tipo agrupa a los puentes atirantados de tres vanos (con dos pilones). Al ser el obstáculo a salvar prácticamente simétrico, que es el caso más normal.

Se distinguen normalmente tres disposiciones de tirantes :

- Disposiciones en abanico, en las que todos los tirantes convergen en el vértice del pilón.
- Disposición en semiabanico modificado, en la que los tirantes se reparten regularmente en la parte superior del pilón.
- Disposición en arpa, en la que todos los tirantes son paralelos.

Los tirantes se constituyen generalmente por :

- Cables cerrados compuestos por torones de hilos redondos recubiertos. La tensión de rotura de los alambres es de 150 kg/mm² y el módulo de elasticidad entre 15000 y 17000 kg/mm².
- Cables de hilos paralelos, con esfuerzo de rotura entre 180 y 200 kg/mm² y módulo de elasticidad entre 19000 y 20000 kg/mm².

A causa de ser exteriores al concreto del tablero, el comportamiento de los tirantes es diferente al de los cables de postensado. Por esto, su variación de tensión bajo el efecto de las cargas de servicio es más elevada que la de los cables dispuestos en el interior del concreto y solidarizados

con este último por medio del mortero de inyección. Esto hace imprescindible proteger los tirantes contra los fenómenos de fatiga. La resistencia a la fatiga se mejora, además, si los cables de postensado inyectados, se disponen en sus extremos, en la proximidad de los anclajes, dentro de tubos de diámetro superior.

Debido a que los tirantes están expuestos a la intemperie, se debe igualmente luchar para asegurar su protección contra la corrosión. Los tirantes también sufren fenómenos de fatiga por las vibraciones provocadas por el viento.

Por razones constructivas, cada dovela se postensa, generalmente, con dos o varios cables. En el caso de puentes atirantados, por razones estéticas y de permeabilidad al viento, es preferible disponer estos últimos a una distancia del orden de 6 a 10 metros, correspondiente a la longitud de dos o tres dovelas, lo que obliga a disponer un presfuerzo provisional para asegurar la estabilidad de los elementos no atirantados, o a aumentar la longitud de las dovelas.

Los tirantes se distribuyen de esta forma (fig. 4.5), de una manera sensiblemente regular en dirección longitudinal a lo largo del tablero, y el esquema de atirantamiento se denomina múltiple repartido. Este tipo de atirantamiento presenta ciertas ventajas :

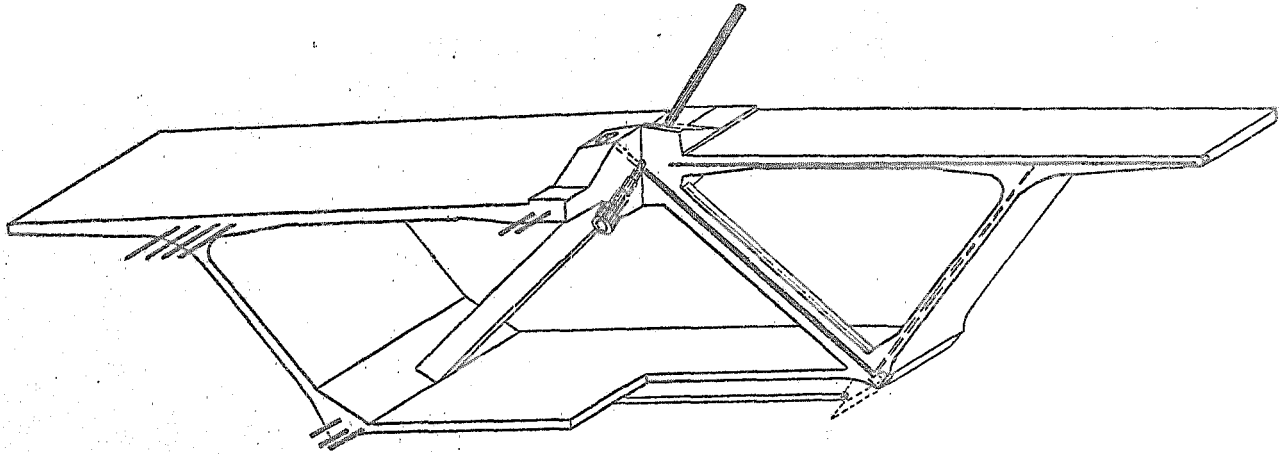


FIG. 4.5 DISTRIBUCION DE TIRANTES Y PRESFUERZOS

- Facilidad de montaje del tablero ya que se puede avanzar la construcción en voladizo hasta el tirante siguiente.
- Simplificación de la transmisión de esfuerzos a la estructura del tablero, por una parte, y a los pilones - por la otra, por la reducción de fuerzas concentradas en los puntos de anclaje.
- Comodidad de sustitución de los tirantes, en caso de deterioro, sin interrumpir la utilización de la obra.
- Mejor estabilidad aerodinámica, a causa del aumento de amortiguamiento debido al número elevado de tirantes de longitud variable y por tanto de frecuencias diferentes.

PILONES O MASTILES. (fig. 4.6)

Los pilones son elementos de concreto fuertemente solicitados a compresión a causa de la componente vertical de la tensión de los tirantes, por lo que pueden presentarse riesgos importantes de inestabilidad de forma.

Su esquema longitudinal puede ser del tipo flexible, con un elemento vertical único, o del tipo rígido con un pilón en forma de A. Su esquema transversal depende estrechamente de la naturaleza de la suspensión, axial o lateral y puede revestir diferentes formas:

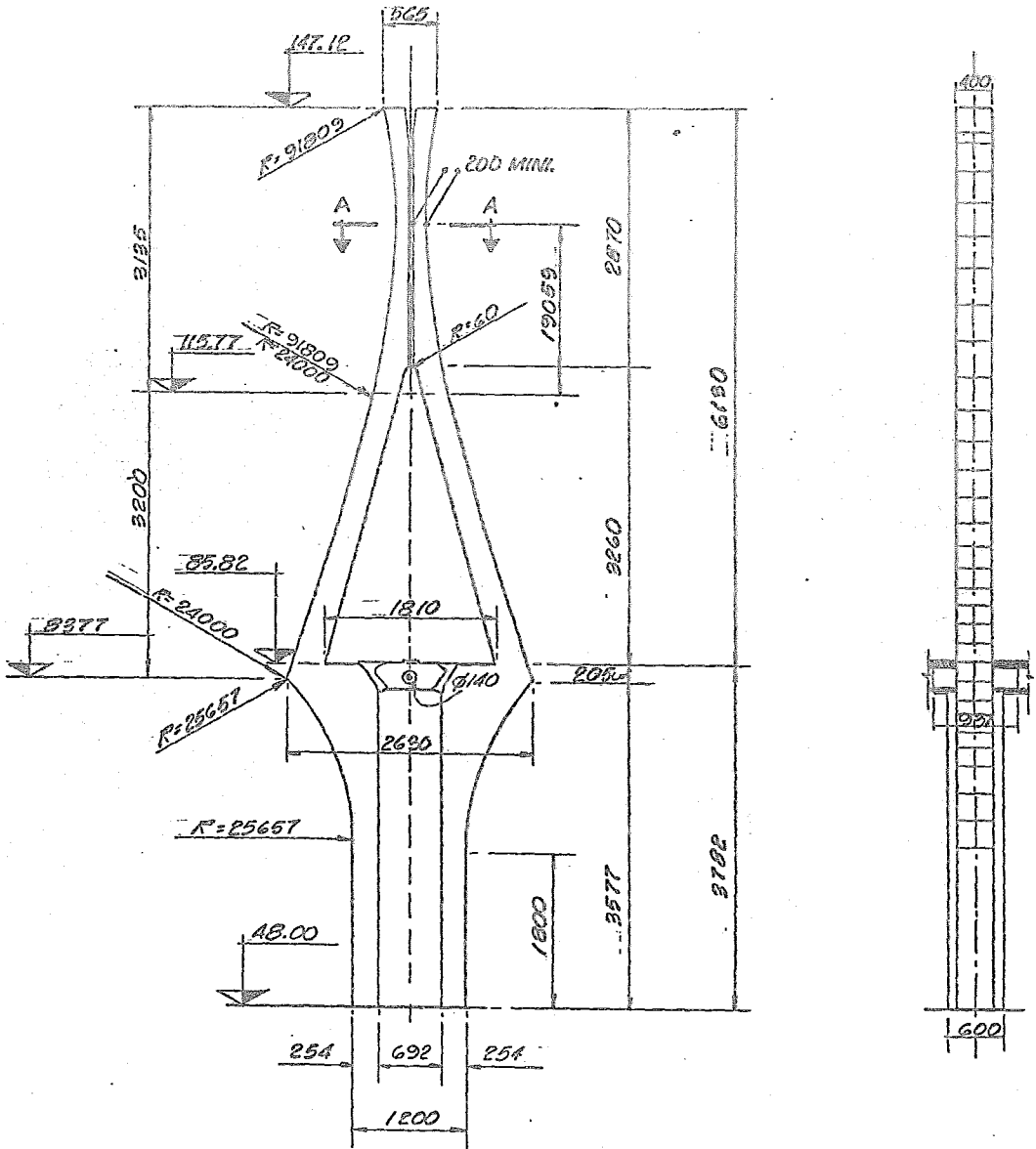


FIG. 4.6 MASTIL EN FORMA DE Y INVERTIDA
 PUENTE COATZACOALCOS II

- Uno o dos pilares verticales.
- Pórtico en V o en Y invertida.
- Marco con pilares gemelos.

Los pilones sufren flexiones en dos direcciones, longitudinal y transversal; las primeras debidas a cargas y sobrecargas y las segundas debido al efecto del viento. La flexión de los pilones y su estabilidad de forma, están condicionados por :

- Su esquema longitudinal y transversal.
- Su forma de ligazón con el tablero o las pilas principales.
- El sistema de atirantamiento, incluyendo el tipo de fijación de los tirantes sobre los pilones.

Por razones constructivas, en las obras de concreto, los pilones se empotran generalmente en su base, ya sea en el tablero o en las pilas principales.

Las solicitaciones de flexión de los pilones son mucho más importantes con un atirantamiento en arpa que con un atirantamiento en abanico. En el atirantamiento en abanico, donde los tirantes convergen en la proximidad del vértice del pilón las cargas actuantes sobre el vano central se transmiten directamente a los cables de retenida, y los únicos esfuerzos de flexión en el pilón son debido al alargamiento de estos ca--

bles, en cambio, en el atirantamiento en arpa, con cargas si tuadas en la proximidad del cuarto del vano central, no se pueden transmitir a los cables de retenida más que por el efecto combinado de la sobretensión del tirante más próximo y la flexión del pilón.

Los pilones, generalmente, están suficientemente con- traventeados por los tirantes, que proporcionan uno o varios puntos fijos con lo que las deformaciones bajo las cargas aplicadas son pequeñas.

La verificación de la estabilidad de forma, se debe ha cer en el estado límite último, utilizando los siguientes pa rámetros:

- Características mecánicas del concreto y el armado.
- Sección y reparto del armado.
- Forma de la sección transversal del pilón.
- Esbeltez del pilón y excentricidad de las cargas.
- Modo de combinación de las cargas.

El armado del pilón estará constituido preferentemen- te por barras de acero duro, de gran diámetro, asegurando su continuidad mediante manguitos mecánicos.

Los pilones o mástiles se ejecutan mediante cimbra con vencional por secciones de tres metros.

SECCION TRANSVERSAL (fig. 4.7)

En cuanto a la sección transversal, ésta se logra rigidizar por medio de barras inclinadas que convergen en el punto de anclaje de los tirantes de suspensión y se disponen longitudinalmente cada tres metros.

La elección de una sección transversal triangulada, compuesta por elementos de pequeño espesor, combinada con una utilización sistemática del presfuerzo, ha permitido obtener una obra ligera en la que el espesor equivalente es de 0.47 m. El tablero se postensa en las tres direcciones.

Un postensado longitudinal, constituido por cables Freysin del tipo 12 T 15. El forjado superior, que se apoya en forma continua sobre las almas, siendo postensadas transversalmente con monotorones T 15 que se disponen en el plano de las barras inclinadas. Las almas, que son dos solamente, y de 20 cm. de espesor para una estructura de unos 20 m. de anchura, soportan tensiones tangenciales particularmente elevadas y se han tenido que postensar verticalmente con estribos.

Por último, las barras inclinadas que equilibran el esfuerzo de los tirantes (uno por cada dos barras) están sometidos a una tracción considerable, y se postensan igualmente con cables 12 T 15.

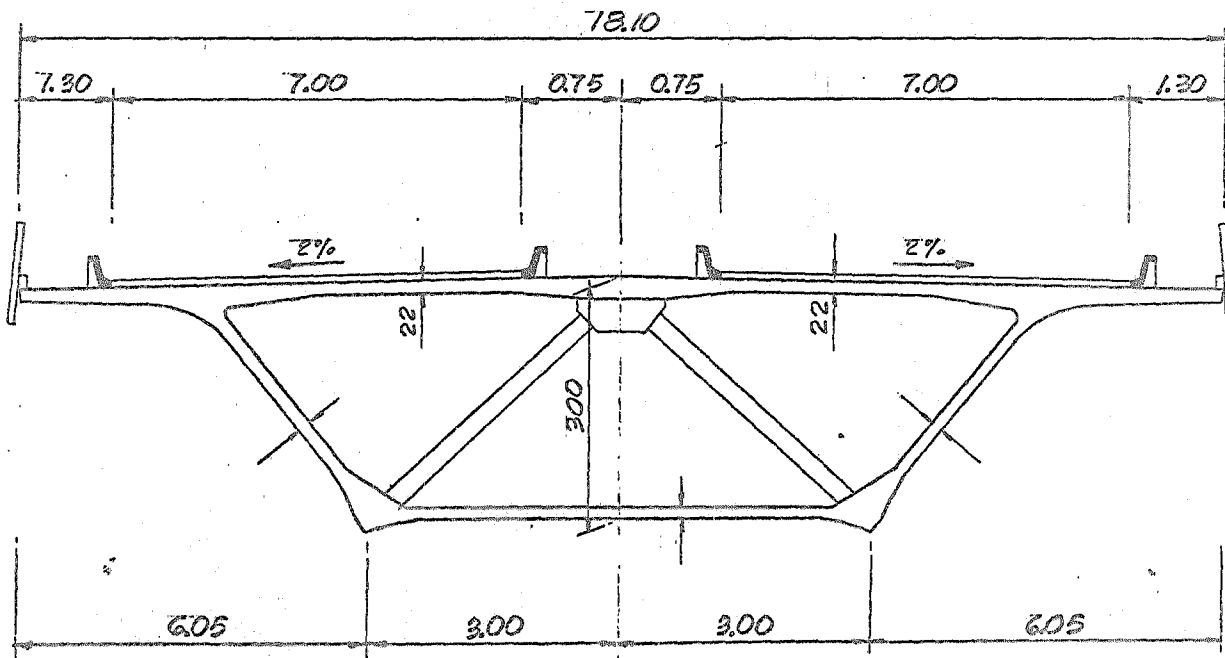


FIG. SECCION TRANSVERSAL DE UNA DOVELA
 PUENTE COATZACOALCOS II

PROCEDIMIENTO DE TENSADO DE LOS CABLES. (Fig. 4.8)

1.- Colocación :

Secuencia de colocación del gato y sus accesorios.

- a) Módulo de anclaje con abrazadera fija.
- b) Junta plástica (el cable pasa por el centro).
- c) Placa de presión (apoyo del gato).
- d) Gato hidráulico.
- e) Módulo de anclaje posterior con abrazadera recuperable.

2.- Preparativos para el tensado:

Se fijan los cabos de los cables al módulo de anclaje posterior por medio de la abrazadera recuperable, se ajusta el gato.

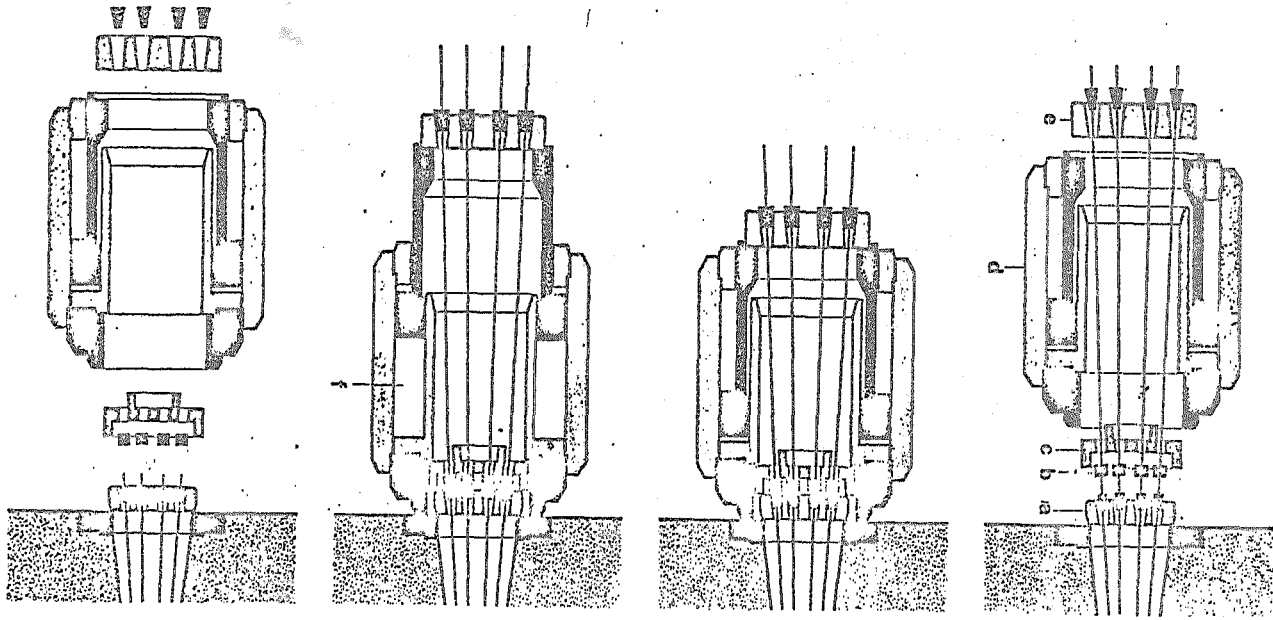
3.- Tensado :

Se presuriza la cámara de compresión a la presión requerida. Las juntas plásticas se aseguran uniformemente contra el módulo de anclaje impidiendo su regreso.

4.- Drenado y separación del gato hidráulico :

Se vacía el aceite de la cámara de compresión y se desmonta el gato y sus accesorios.

FIG. 4. 5. CONNECTION OF THE CABLE.



b) SECUENCIA DE CONSTRUCCION.

El procedimiento general de construcción de todos los tramos de la superestructura, excepto la mitad de los tramos extremos adyacentes a los estribos 1 y 15 que se hacen en forma tradicional con obra falsa, está basado en el colado de dovelas simétricas en doble voladizo a partir de los apoyos, sin necesidad de utilizar elementos de apoyo directo sobre el terreno.

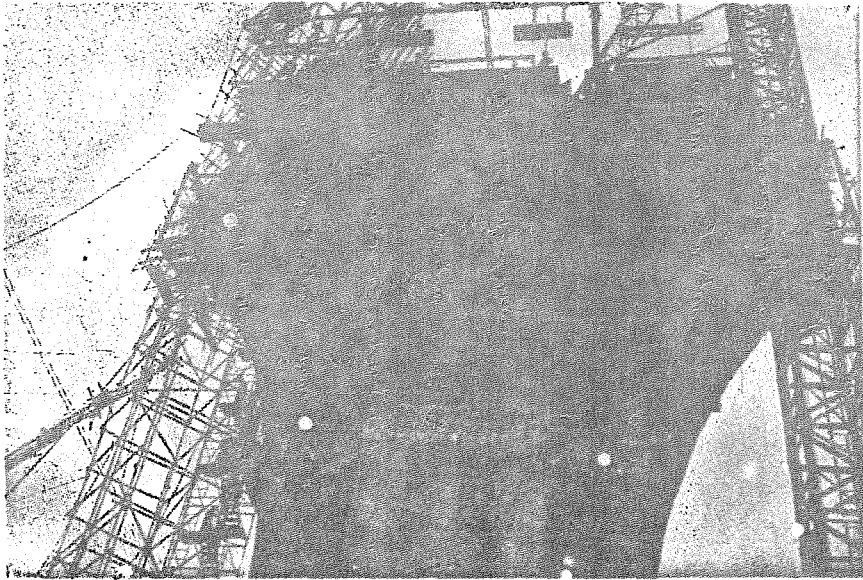
La secuencia constructiva de este procedimiento incluye las siguientes actividades:

Construcción de un primer elemento del tablero sobre la pila.

Una vez terminada la pila, apoyado sobre la misma se construye un primer elemento sobre la pila (dovela sobre pila), que no requiere la utilización de obra falsa a menos que su longitud sea mayor al ancho del cuerpo de la pila. Si esta dovela no es continua con el cuerpo de la pila, requiere que una vez terminada se fije en forma provisional para evitar un posible volteamiento del tablero durante su ejecución, lo que generalmente se hace con un presfuerzo vertical provisional que se aloja en las paredes del cuerpo de la pila. Este presfuerzo se retira una vez terminado el doble voladizo y unido con los adyacentes. La construcción de esta dovela se realiza en forma similar a los cuerpos de pila.



DOVELA SOBRE PILA



MONTAJE DE DISPOSITIVO MOVIL

Montaje y fijación de los dispositivos móviles de colado

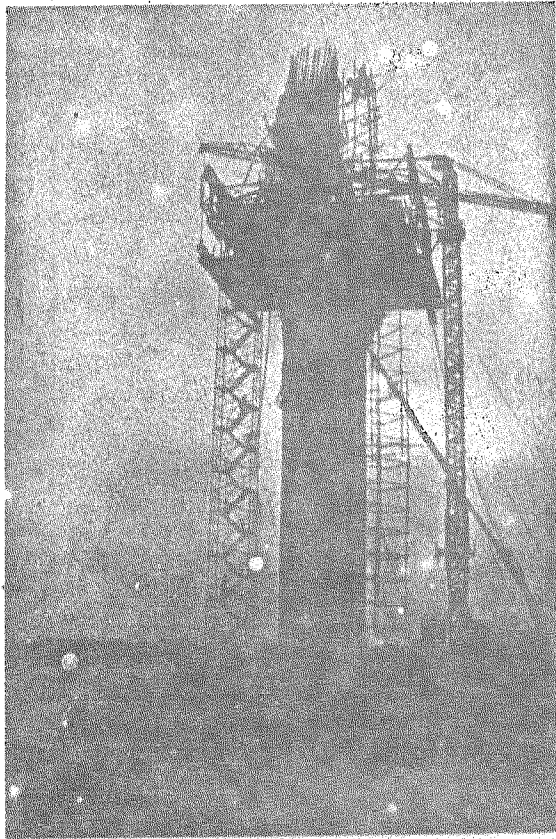
Una vez que el elemento anterior ha alcanzado la resistencia necesaria y se ha presforzado, se procede al montaje de los dispositivos móviles de colado. Este montaje se hizo en secciones mediante torres grúa en el caso de las pilas más altas y con grúas montadas sobre orugas en el resto de los apoyos. Para el control de nivelación de estos elementos se colocaron aditamentos especiales en varios puntos ya que de la exactitud de estas medidas depende la geometría final de la obra.

Colado de las primeras dovelas simétricas.

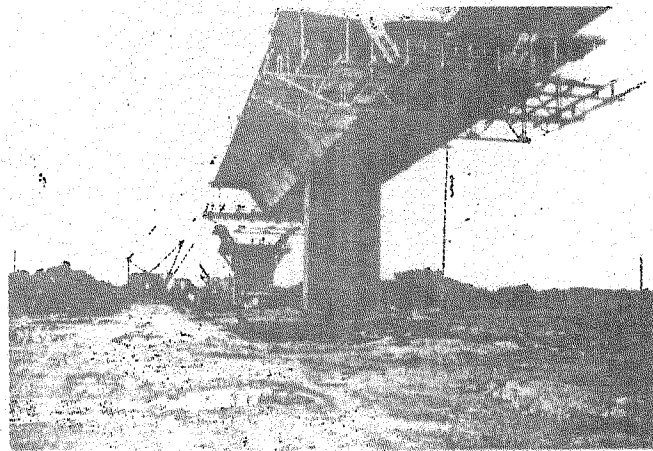
Una vez anclados los dispositivos móviles de colado se coloca un molde metálico sujeto al dispositivo, el acero de refuerzo en secciones previamente armadas para lograr más rapidez en esta actividad, los ductos para el acero de presfuerzo y los elementos precolados que alojan los anclajes de presfuerzo y las tornapuntas. Después se procede al colado, empleando concreto elaborado en plantas y colocándolos mediante bombas y grúas.

Fraguado del concreto y tensado de los elementos de presfuerzo.

Para cumplir con el ciclo de construcción de una dovela por semana se estudió un proporcionamiento con aditivo fluidi-



COLADO DE LAS PRIMERAS DOVELAS
SIMETRICAS



REPETICION DEL CICLO DE COLADO DE DOVELAS

zante que permitiera aumentar el revenimiento del concreto; es to permitió su eficiente colocación en las secciones de la do vela, que son relativamente delgadas y con fuerte densidad de acero de refuerzo y presfuerzo; además de obtener una resistencia del 80 % de la del proyecto en un lapso de 36 horas co mo máximo, necesaria para el tensado de los cables de pres-- fuerzo. Hecho el tensado y el lavado de los cables, se proce-- de a su inyectado de lechada de cemento que contiene un aditi vo estabilizador de volumen.

Soltar y mover hacia adelante los dispositivos móviles de colado.

Una vez aplicado el presfuerzo, se sueltan los disposi-- tivos móviles de colado y se corren hacia adelante mediante el uso de gatos, hasta colocarlos en posición para el colado de la siguiente dovela. Esta maniobra requiere realizarse con todo cuidado para evitar la posibilidad de caída.

Repetición del ciclo.

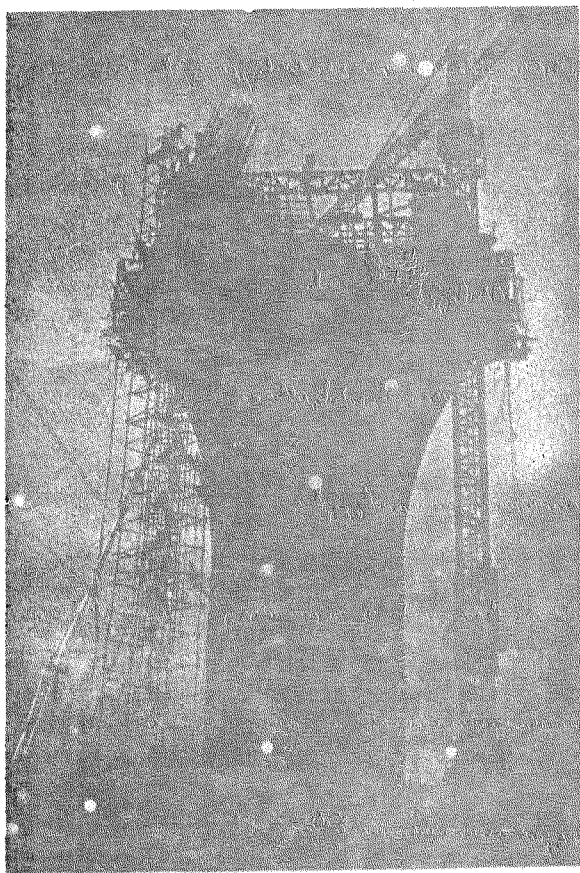
El ciclo se repite tantas veces como dovelas por colar, cuidando en cada ocasión de un control muy estricto en cuanto a niveles y posición, sobre todo en la medida que el voladizo aumenta su longitud. Las nivelaciones deben realizarse cuando la temperatura en el concreto sea más uniforme en toda la sec ción.

Colado de dovelas en zona atirantada.

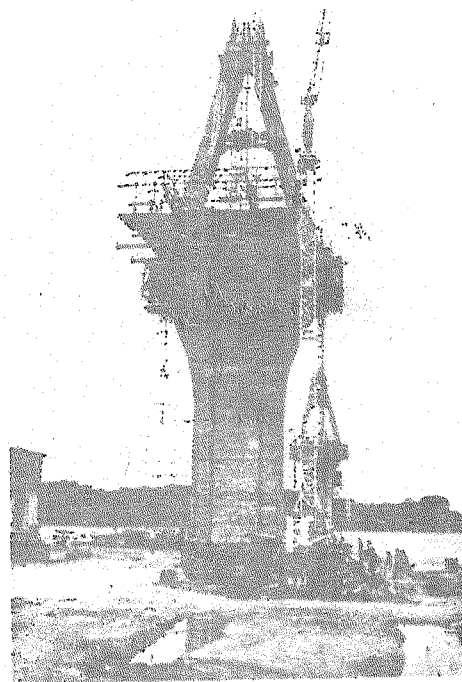
El colado de estas dovelas es como sigue: después de tensado el primer tirante deben colocarse en voladizo las siguientes tres dovelas y colocar el dispositivo móvil en la posición de colar la cuarta, en esta condición se tensa el segundo tirrante y se repite el proceso hasta terminar todos los tirantes continuándose el colado de dovelas del claro principal hasta la dovela de cierre; etapa en la que se aplica el presfuerzo de continuidad y así concluye la construcción del tablero.

Colado del pilón o mástil.

El mástil tiene la forma de una Y invertida, con una sección del orden de 4 m por 4 m. Aquí el problema principal es la colocación del concreto, mantener la verticalidad y la geometría de sus ramas. Hasta cierta altura, el concreto se eleva por bombeo y rebombeo, y para alturas superiores se hará con una grúa torre. Los moldes permiten colar tramos de 3 m contraventeados convenientemente para evitar deformaciones en las ramas de la Y. El colado se hace al mismo tiempo que las dovelas que parten de las pilas principales. Para el equipo auxiliar y las maniobras de personal, se construyó una obra falsa metáli-ca tubular apoyada en el tablero. En el mástil se dejaron ahogados a la altura prevista, los tubos que permitirán el paso de los tirantes, los cuales serán rolados en taller.



CONSTRUCCION DEL MASTIL EN TRAMO DE
TRES METROS



TERMINACION DE LA PARTE INFERIOR DEL
MASTIL

Desmontaje de los equipos móviles de colado.

Al terminar la construcción del voladizo se procede a -
desmontar los dispositivos, pero lo cual y con el fin de lo-
grar una mayor seguridad y evitar impactos o desequilibrios de
carga en los extremos, se corren hacia atrás y se desmontan lo
más cercano posible a la pila.

Procedimiento de construcción para el montaje de los ti-
rantes.

La construcción y montaje de los tirantes consta de las
siguientes etapas: colocación de los tubos de protección de -
los tirantes, insertado de los torones, tensado de los tiran--
tes e inyección de lechada.

Colocación de los tubos de protección de los tirantes.

Los dos primeros tubos de protección se colocarán con el
el empleo de una obra falsa apoyada en el tablero y los restan
tes, apoyándose en los dos tubos inmediatos anteriores, con el
auxilio de dispositivos especiales.

Insertado de los torones.

Una vez colocados los tubos de protección, se procede a
insertar los torones que forman el tirante, lo cual se hace me
diante una máquina lanzadora que inserta torón por torón hasta
completar el número requerido.

Tensado de los tirantes.

El tensado de cada tirante se hace con dos gatos hidráulicos, uno en cada extremo, para jalar todos los torones a la vez; los gatos tienen una capacidad de 100 ton., y para transportarlos se montan en carros especiales para facilitar la maniobra. Los anclajes del tirante permiten retensar o destensar cuantas veces sea necesario.

Inyección de lechada.

La inyección de lechada se utiliza para la protección de los tirantes como para los cables de presfuerzo, y debe efectuarse de abajo hacia arriba y a partir de ambos extremos para evitar que formen burbujas de aire. Los tubos de protección se dotan con registros de control para verificar que la lechada llene completamente el ducto. También aquí se emplean aditivos retardantes y estabilizadores de volumen, para evitar taponamientos que impidan el proceso y contracción de volumen.

Etapas de construcción en el tramo principal.

Para el tramo principal, que incluye desde el estribo - No. 1 hasta el apoyo 7, se realizaron las actividades anteriores en 10 etapas :

ETAPA 1.- Construcción de las dovelas de pila y en doble voladizo a partir de las pilas 2,3,4,5,6 y 7 (fig. 4.9).

Se construyeron las dovelas en doble voladizo y de pila de dichos apoyos considerando lo siguiente: las pilas 2 y 7 al no tener continuidad con el tablero, necesitaron de un presfuerzo vertical provisional y se les pusieron en la unión de tablero y pila, calzas y gatos que vendrían a acomodar el tablero sobre la pila después del cierre de los tramos 2-3 y 6-7, ya que hasta antes de esa etapa se requiere que el tablero, no tenga movimiento. A las pilas 3 y 6 de acuerdo al proyecto, se les dió un presfuerzo vertical definitivo para contrarrestar las grandes reacciones de carga que producen considerables momentos de volteo al tablero. Y las pilas principales 4 y 5, que teniendo continuidad con el tablero y el mástil necesitaron de una alta densidad de acero de refuerzo y presfuerzo en la parte correspondiente al tablero.

ETAPA 2.- Construcción de los mástiles (fig. 4.10).

Los mástiles se construyeron al mismo tiempo de los dobles voladizos en las pilas 4 y 5, que son las pilas donde se

sustentan, ya que al colar las últimas dovelas sin tirantes de esos tramos, los mástiles deben haber llegado más arriba que la primera silleta donde se alojará el primer tirante, y el concreto de esta zona debe haber logrado una resistencia de 300 kg/cm².

ETAPA 3.- Cierre en los tramos 2-3 y 6-7 (fig. 4.11).

Se hace el colado de la dovela de cierre de esos tramos con un solo carro y luego se hace el tensado de continuidad longitudinal tanto inferior como superior al alcanzar el concreto la resistencia de 250 kg/cm².

ETAPA 4.- Sustitución de apoyos sobre las pilas 2 y 7 -
(fig. 4.12)

Esta etapa consiste en primero destensar los cables verticales de presfuerzo y luego cortarlos para que el apoyo sea móvil. Para esto, en la pila 2, se levanta el tablero mediante gatos planos y se retiran las calzas, bajando después la superestructura a los apoyos. Para el caso de la pila 7, se realiza la operación por medio de gatos de arena.

ETAPA 5.- Construcción de los extremos de la obra principal (fig. 4.13).

La construcción del lado del estribo No. 1 se realiza en forma tradicional con obra falsa, construyéndose una dovela articulada al centro del claro. La construcción del lado izquierdo de la pila 7 se hace en doble voladizo, pero con la ayuda de un mástil metálico provisional para colar las dovelas en desequilibrio que se dirigen hacia la pila 8. Al centro de este claro también se realiza una dovela articulada.

ETAPA 6.- Construcción de los tramos soportados por los tirantes cortos (fig. 4.14).

En esta etapa se realiza la construcción de las 22 dovelas de las pilas principales, soportadas por 7 tirantes a los que se les denomina cortos, donde después del tensado del primer tirante deben colocarse en voladizo las siguientes tres dovelas y la colocación del dispositivo móvil en la posición para colar la cuarta, en esta condición se tensa el segundo tirante y se repite hasta el séptimo tirante.

ETAPA 7.- Cierre en los tramos 3-4 y 5-6 (fig. 4.15).

En este caso se realiza el colado de la dovela de cierre con un solo carro y luego se tensa el presfuerzo de continuidad longitudinal al alcanzar el concreto la resistencia de 250 kg/cm².

ETAPA 8.- Construcción de los tramos soportados por los tirantes largos en las pilas 4 y 5 (fig.4.16).

Se cuelan las dovelas desde la 23 hasta la 39 de las dos pilas tensando los tirantes del 8 al 16 del mismo modo que para los tirantes cortos.

ETAPA 9.- Cierre del tramo 4-5 (fig. 4.17)

Se realiza de la misma manera que para las dovelas de cierre de los otros tramos. Con esta dovela se logra cerrar toda la estructura.

ETAPA 10.- Tensado del último tirante y acabados del -
tablero (fig. 4.18).

En esta etapa, se tensa el último tirante, que va alojado en la dovela 39 del claro mayor y la dovela de cierre del tramo 2-3 si se trata de la pila 4, y en la dovela 39 del otro lado y la dovela de cierre del tramo 6-7 si se trata de la pila 5.

Ya concluido esto, se realizan los acabados del tablero como son: inyección de tirantes y cables de presfuerzo, colado de los muros del camellón central y las guarniciones, colocación del parapeto y los postes de alumbrado, la aplicación de la carpeta asfáltica y la limpieza general.

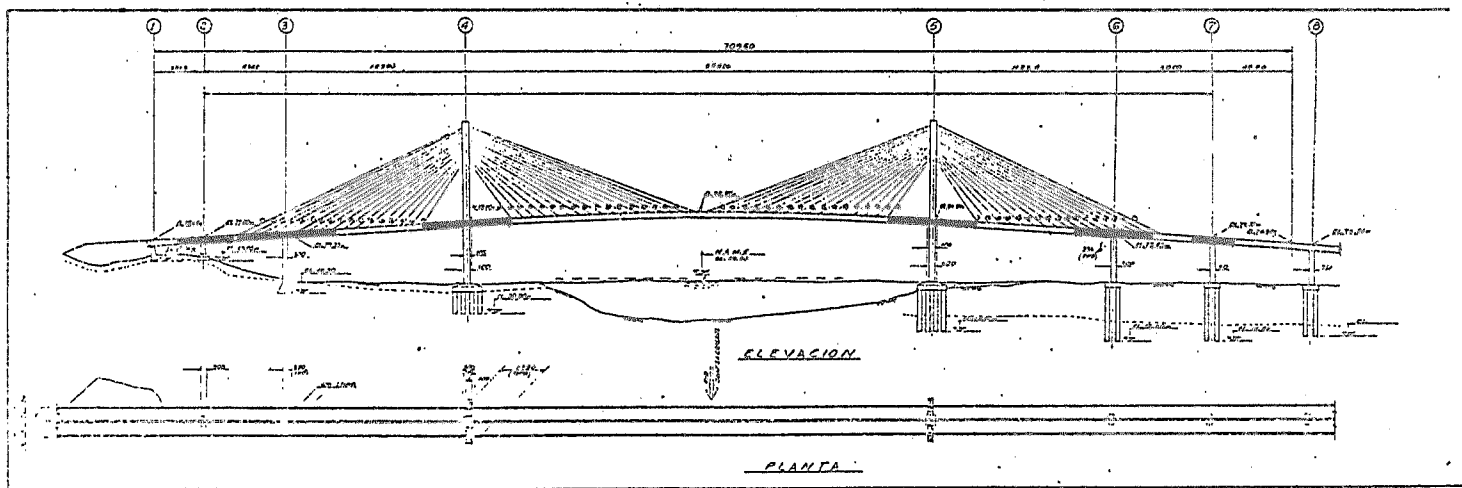


FIG. 4.9 ETAPA 1

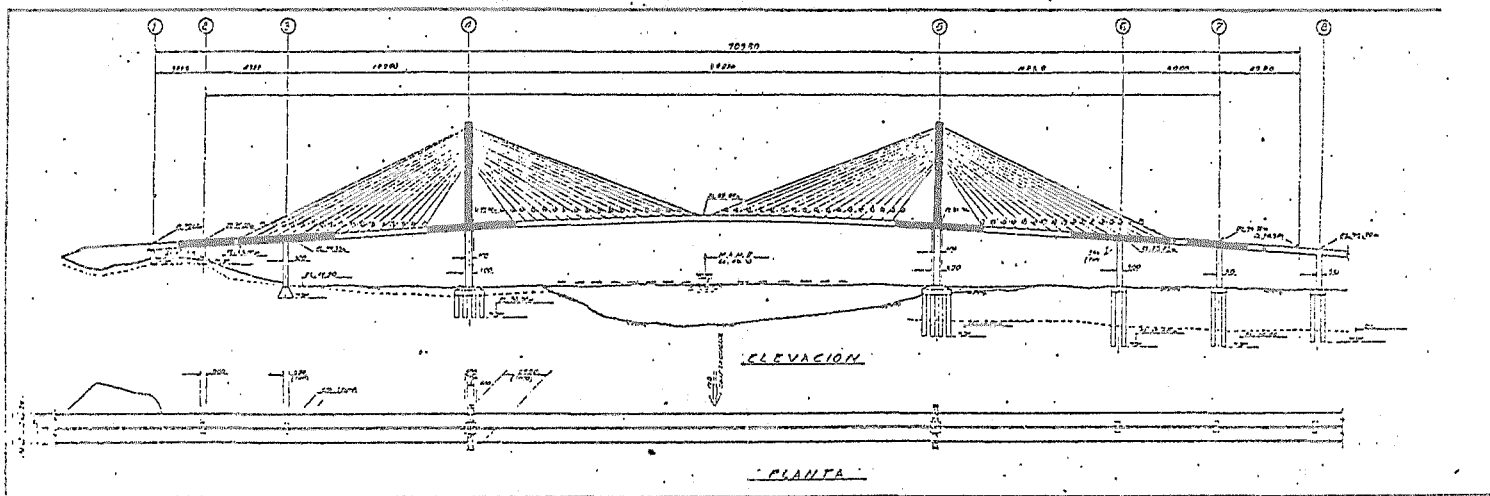


FIG. 4.10 ETAPA 2

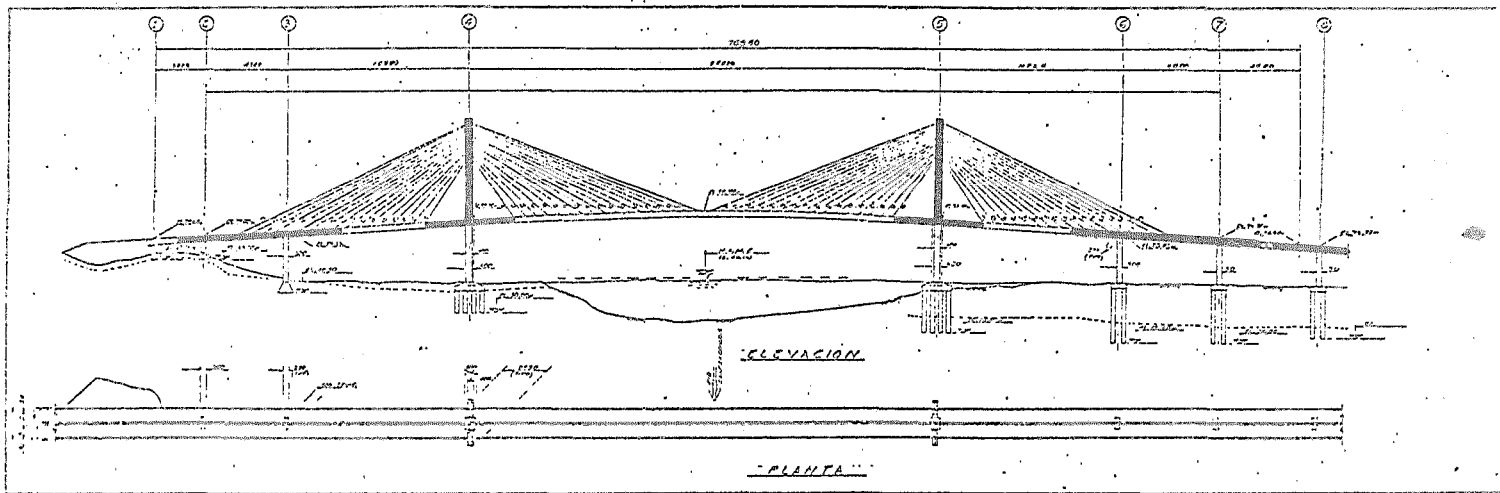


FIG. 4.11 ETAPA 3

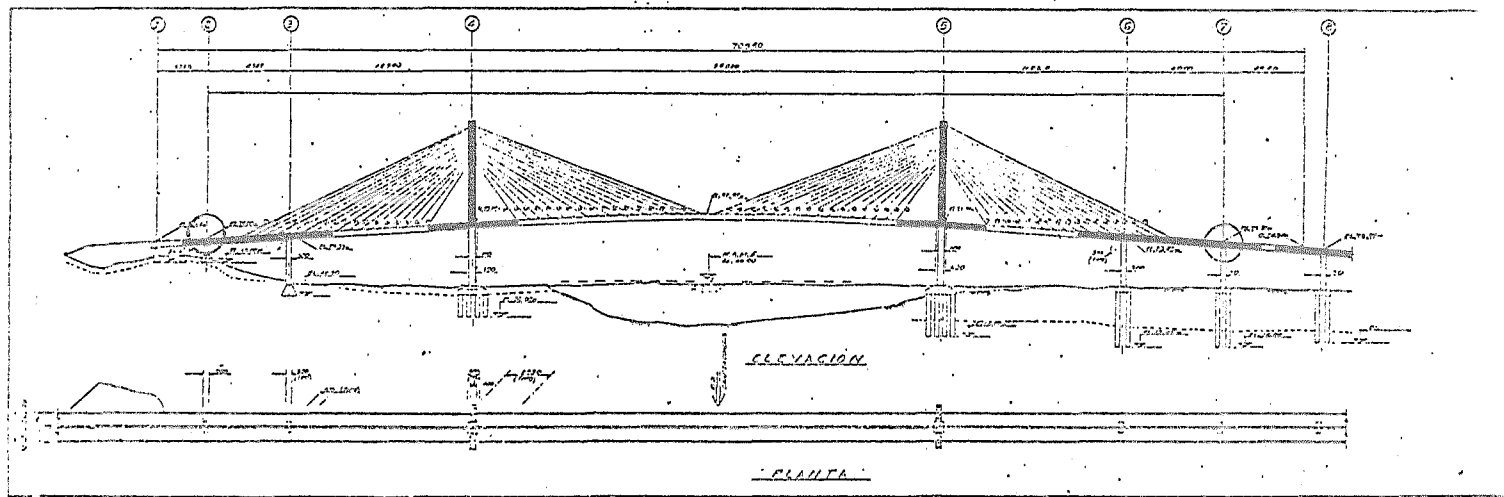
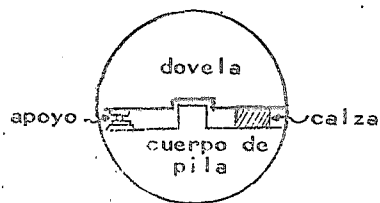


FIG. 4.12 ETAPA 4



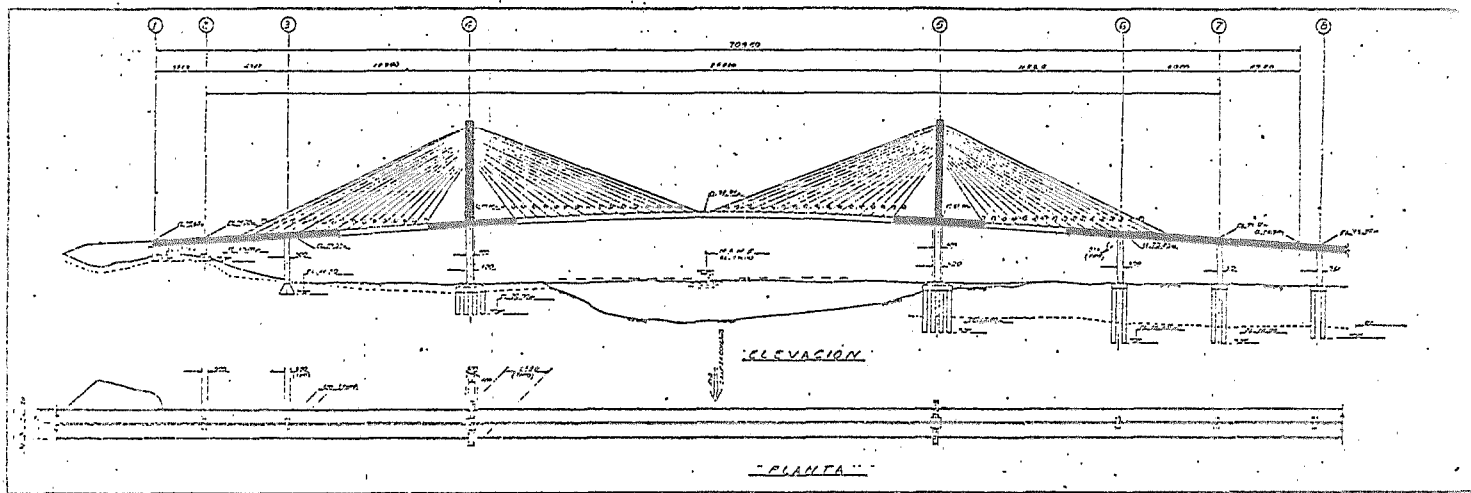


FIG. 4.13 ETAPA 5

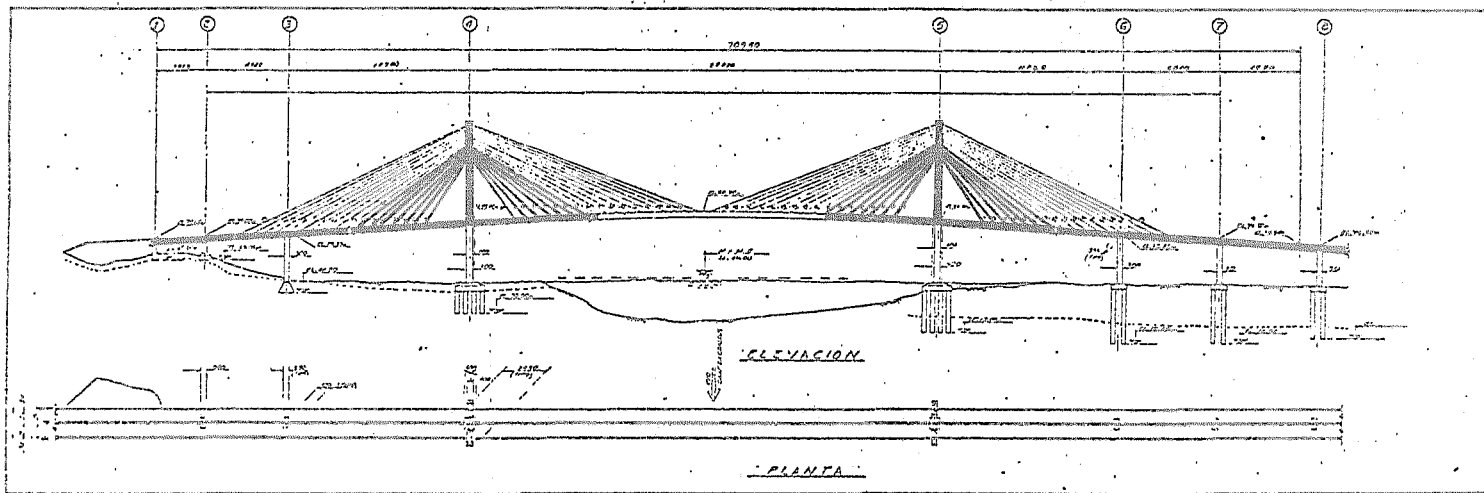


FIG. 4,14 ETAPA 6

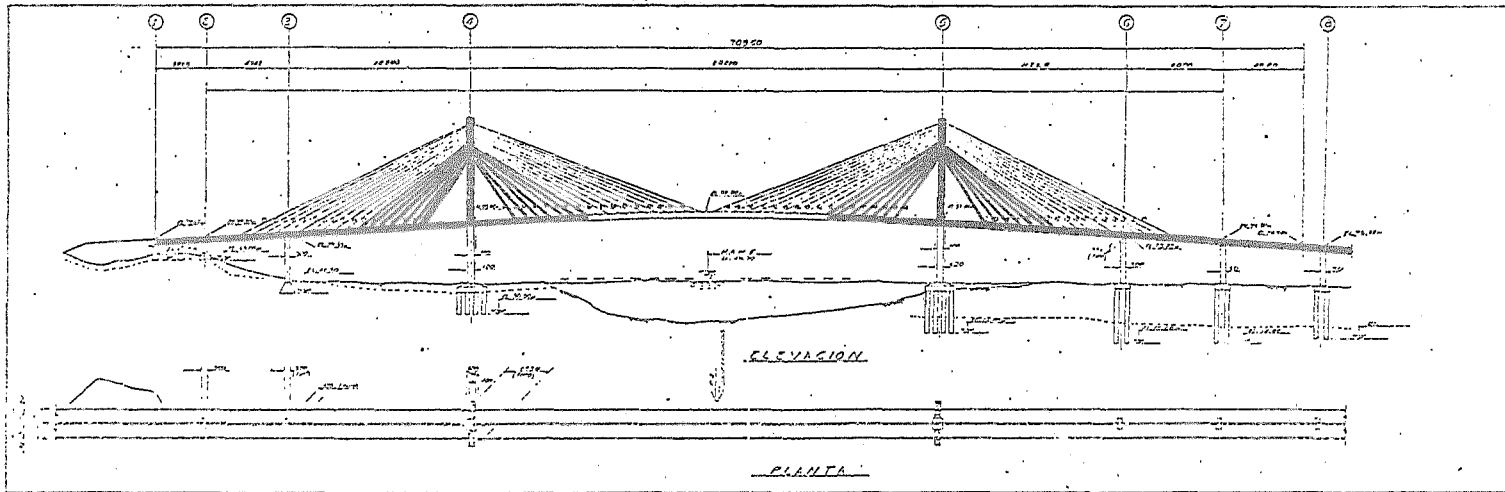


FIG. 4.15 ETAPA 7

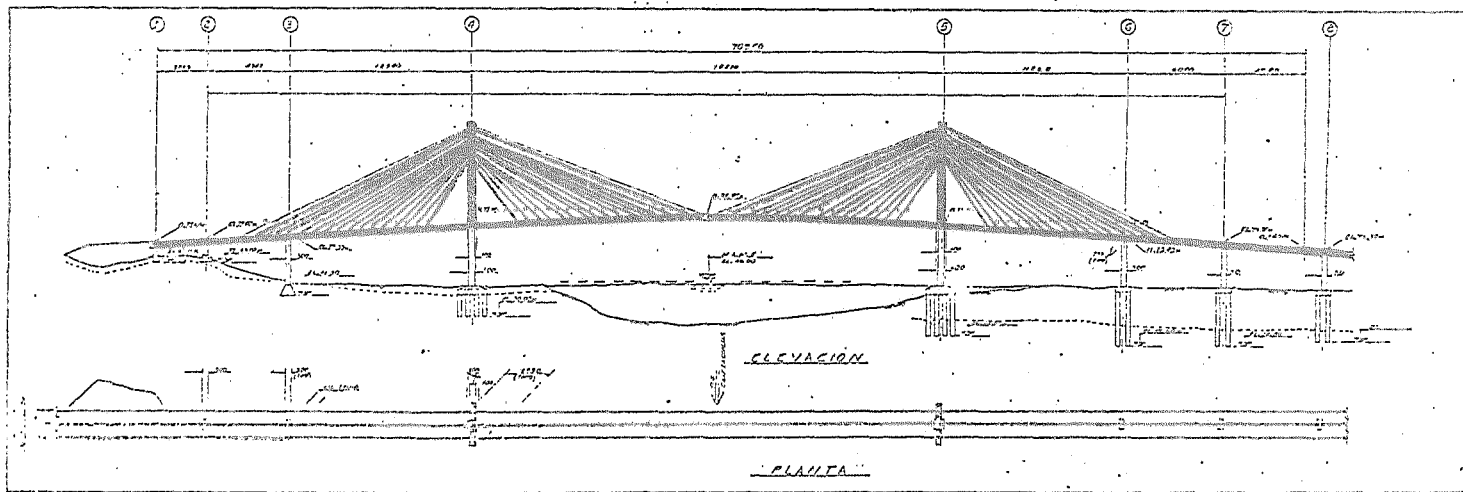


FIG. 4.16 ETAPA 8

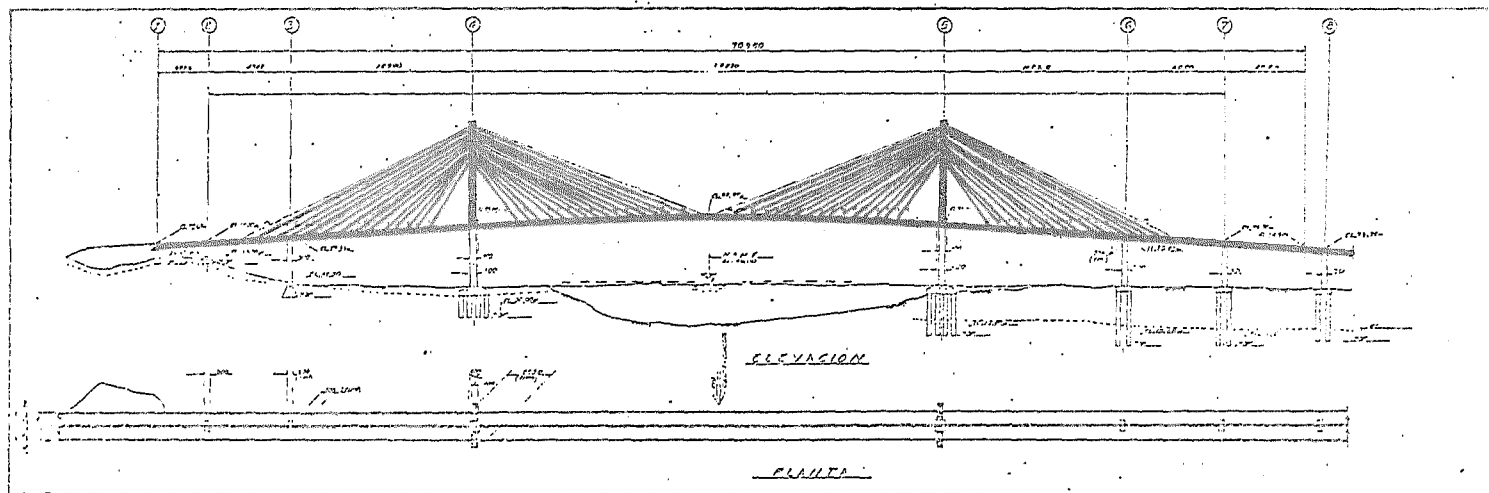


FIG. 4.17 ETAPA 9

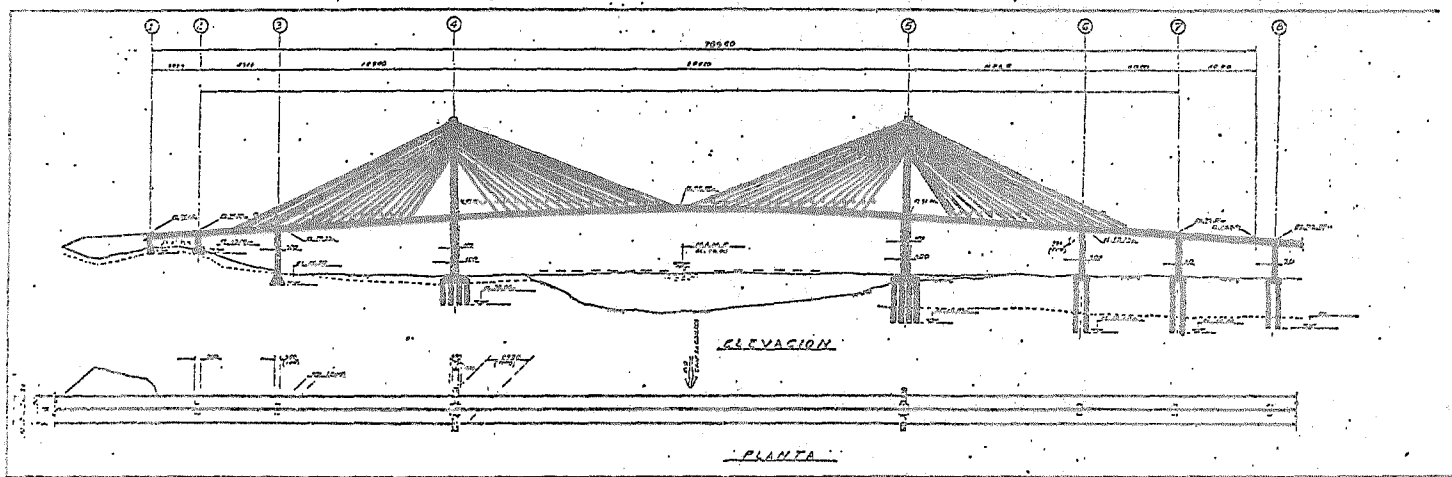


FIG. 4.18 ETAPA 10

V.- ANALISIS DE UN PRECIO UNITARIO.

Es factor determinante en la construcción de una obra, el análisis que se haga de los precios unitarios, ya que éstos indicarán la cantidad de recursos de que se debe disponer, así como el costo de la estructura a construir, señalando la manera para que ésta resulte más económica.

Como se sabe, un precio unitario involucra costos directos, es decir, de materiales, mano de obra y equipo e indirectos como lo son: gastos de oficina central y de campo, fianzas, financiamiento, imprevistos, etc., y por último, la utilidad, que es la ganancia de la empresa y que algunas de éstas la incluyen dentro de los indirectos.

Para hacer un buen análisis de precios, se debe contar con información de la zona, referente a bancos de material, cantidad de personal capacitado, maquinaria a utilizar, tipo de clima, rendimiento del personal, etc. Esto servirá para conocer que elementos materiales y humanos tiene la región, para llevar los que no existan en ella.

En la zona donde se construye el Puente Coatzacoalcos II existe poco material que reúna los requisitos especificados para la construcción de la obra, por lo que fue necesario traer material de zonas más lejanas, aumentando el costo del material debido al transporte.

Se tuvo que utilizar maquinaria especial, tales como: - grúas torre, grúas de oruga, máquina vibratoria para hincados de pilote, dragas, equipo de bombeo, dosificadoras, etc., debido a los procesos sofisticados de construcción.

En cuanto a personal, se utilizó mano de obra de la región y se llevó gente calificada para actividades que necesitaban de mayor calidad.

En la parte siguiente, se analiza el precio unitario de concreto hidráulico por unidad de obra terminada, de f'c - igual a 350 kg/cm², colocado del nivel 71.77 al 73.17 de la pila 4.

Para facilitar el cálculo del precio unitario, primero se analizaron los costos básicos, como por ejemplo: obtención de agregados, suministro y manejo de cemento, cimbra de contacto, etc.

La suma de los costos de las actividades incluidas dentro del precio unitario nos da el costo directo, el cual, sumado al costo indirecto y a la utilidad (que se maneja como porcentaje del costo directo) da como resultado el precio por unidad de obra.

TESIS PROFESIONAL	O B R A	FECHA
	CONCEPTO	OCTUBRE DE 1981

PUENTE COATZACOALCOS II
PRECIO No. 9

CONCRETO HIDRAULICO

Concreto Hidráulico por unidad de obra terminada colado en seco.

De $F'c=350$ Kg/cm² en Diafragma de Pila 4 y 5 del nivel 71.77 al 73.17

A) ACTIVIDADES INCLUIDAS.

- 1.-Agregados Pétreos.
- 2.-Recribado y Relavado.
- 3.-Suministro y Manejo del Cemento.
- 4.-Agua para la elaboración del Concreto.
- 5.-Suministro y Manejo de Aditivos.
- 6.-Maquina del Concreto.
- 7.-Transporte y Colocación del Concreto.
- 8.-Preparación del sitio de colado.
- 9.-Cimbra de Contacto.
- 10.-Curado.

B) A N A L I S I S.

1.-AGREGADOS PETREOS.

Del Costo Básico "A"	\$	724.29/m3	
Sobrecarreo de 26 km.			
$17+25 (8.35)/26=13.49$			
\$ 13.49/km x 26 km. =			
		<u>\$ 350.74/m3</u>	
		<u>\$ 1,093.03/m3</u>	
Gravas y Arenas = 1.185 m3/m3			
\$ 1,093.03/m3 x 1.185/m3/m3 =		\$ 1,295.26/m3	
5% Mermas.-		<u>" 64.75/m3</u>	\$ 1,360.03/m3

2.-RECRIBADO Y RELAVADO.

Del Costo Básico "B" \$ 139.01/m3			
Se considera que será necesario recribar y relavar el material.			
$1.185 \text{ m3/m3} \times \$ 139.01/\text{m3} =$		\$ 164.73/m3	
Mermas 10% \$ 1,360.03/m3 x 0.10=		" 136.00/m3	\$ 300.73/m3

TESIS PROFESIONAL	O B R A	FECHA
	CONCEPTO	OCTUBRE DE 1981
	PUENTE COATZACOALCOS II	
	PRECIO No. 9	

<p>3.- SUMINISTRO Y MANEJO DEL CEMENTO.</p> <p>Del Costo Básico "C" \$ 4,268.52/ton para concreto $f'c=350$ Kg/cm² 0.586 ton/m³ = 0.586 ton/m³ x \$ 4,268.52/ ton. =</p>	\$ 2,501.35/m ³
<p>4.- AGUA PARA LA ELABORACION DEL CONCRETO.</p> <p>Del Costo Básico "D" \$ 0.34/lts. Para concreto de $f'c=350$ Kg/cm²=176 lts/m³ = \$ 0.34/lts x 176 lts/m³ =</p>	\$ 59.84/m ³
<p>5.- SUMINISTRO Y MANEJO DE ADITIVOS PARA CONCRETO.</p> <p>A) Adquisición.</p> <p>Pozzolith \$ 28.00/lt. L.A.S. México, D.F., La Dosificación de este producto es de 300 cc/ bulto de 50 kg. de cemento, con un consumo de 586 kg de cemento/cm³ de concreto, se requie-- ren 3.12 lts/m³ de concreto, se tendrá por tan- to:</p> <p>\$ 28.00/lt x 3.12 lt/m³ = \$ 87.36/m³ Desperdicio 5% \$ 28.00/lt x 0.05 = " 1.40/m³ \$ 88.76/m³</p> <p>B) FLETE.</p> <p>Flete México-Obra, en camioneta F-350 de capacidad 1,500 lts.</p> <p>$\frac{\\$ 11,000.00/viaje \times 3.12 \text{ lts/m}^3}{1,400 \text{ lts/viaje.}}$ \$ 24.51/m³</p> <p>C) CARGA.</p> <p>Carga en el lugar de compra y descarga en obra. Las cargas son similares a las conside- radas en el cemento, por tanto:</p> <p>Cargo= $\frac{\\$ 84.97/ton \times 3.12 \text{ lts/m}^3}{1,000 \text{ lts/ton.}}$ = \$ 0.27/m³</p> <p>Además se considerará la mano de obra-</p>	

TESIS PROFESIONAL	O B R A	PRECIO No. 9	FECHA OCTUBRE DE 1981
	P U E N T E C O A T Z A C O A L C O S 11		
	C O N C E P T O		

de un ayudante que aplique el aditivo-
al concreto en la dosificadora.

1 Ayudante. \$ 1,670.60/t
5% Herr. y Eq. Seg. " 83.53/t
\$ 1,754.12/t

Cargo= $\frac{\$ 1,754.13/t}{12 \text{ hr/t} \times 6 \text{ m}^3/\text{hr}} =$ \$ 24.36/m³ \$ 136.27/m³

6.- MAQUILA DEL CONCRETO.

1.-Mano de Obra.

1 Cabo \$2,237.02/t
2 Planteros 1,060.73 2,121.46/t
2 Op. Dosificadora. 2,196.07 4,392.14/t
12 Ayudantes 1,670.60 20,047.20/t
1 Op. Cargador. 2,427.55/t
2 Electricistas 1,473.48 2,946.96/t
\$ 34,172.33/t
5% Herr. Eq. Seg. " 1,708.62/t
\$ 35,880.95/t

Cargo= $\frac{\$ 35,880.95/t}{12 \text{ hr/t} \times 0.75} \times \frac{24 \text{ hr/dia} \times 26 \text{ dias/mes} \times 15 \text{ meses.}}{12 \text{ hr/t} \times 0.75} =$

12,008 M³ = \$ 3,107.61/m³

2.-Equipo.

A)1 Planta Dosificadora ORU-30

\$ 644.92/hr x 200 hr/mes x 15 meses.
12,008 M³ = \$ 161.12/m³

B)2 Plantas de Luz 460 Kw. (30%)

\$ 549.72/hr x 2 x 200 hr/mes x 15 meses x 0.30 =
12,008 M³ = \$ 82.40/m³

C)1 Cargador Frontal 45-B

\$ 510.67/hr x 200 hr/mes x 15 meses.
12,008 M³ = \$ 127.58/m³ \$ 3,478.71/m³

TESIS PROFESIONAL	O B R A	FECHA OCTUBRE DE 1981
	PUENTE COATZACOALCOS II	
	C O N C E P T O	
	PRECIO No. 9	

7.-TRANSPORTE Y COLOCACION DEL CONCRETO.		
A)1.-Transporte.		
Igual al Precio No. 8	\$ 358.04/m3	
2.-Colocación.		
Igual al Precio No. 8	\$ 1,162.66/m3	
B)Materiales.-		
Se considerará un 15% del utilizado del lote del precio No. 8		
Cargo = $\frac{325,000 \times 0.15}{90 \text{ M}^3}$	\$ 541.67/m3	
C)Equipo		
Igual al Precio No. 8		
Cargo = $\frac{\$ 4,115.10/\text{hr}}{6\text{M}^3/\text{hr} \times 0.75}$	\$ 914.47/m3	\$ 2,976.84/m3
8.-PREPARACION DEL SITIO DE COLADO.		
1.-Mano de Obra.		
1)Rampa de Madera.		
Igual al Precio No. 4 Inciso 6-c-2	\$ 199.77/m3	
2).-Instalación de la Bomba.		
Igual al Precio No. 8-8-2.		
Con un rendimiento de 1/2 T p/cada colado.		
Cargo = $\frac{\$ 12,149.79/\text{t} \times 0.5}{90 \text{ M}^3} \times 2 \text{ colados.}$	\$ 135.00/m3	
3).-Limpieza de la Cimbra, preparación y - armado de la misma, sopleteo del lugar de la Junta de colado, escarificada y lavado del concreto.		
Igual al Precio No. 8-8-3	\$ 43,034.89/t	
Cargo = $\frac{\$ 43,034.89/\text{t}}{90 \text{ M}^3} \times 12 \text{ turnos}$	\$ 5,737.98/m3	
4).-Andamios y Escaleras.		

TESIS PROFESIONAL	O B R A	PRECIO No. 9	FECHA
	CONCEPTO		OCTUBRE DE 1981
PUENTE COATZACOALCOS II			

Igual al Precio No. 8-8-4=\$ 17,078.10/t

Cargo = $\frac{\$ 17,078.10/t}{90 \text{ m}^3} \times 6 \text{ turnos} = \underline{\$ 1,138.54/m^3}$ \$ 7,211.30/m3

II.-MATERIALES.

Ya considerados en el mismo precio 9
Inciso 7-2

III.-EQUIPO.

	\$/hr.	No.Hrs.	Importe.
2 Camión Rev.	557.16	8	4,457.28
Bomba 4"	94.54	48	4,537.92
Compresor	495.94	8	3,967.52
Planta Luz.	549.72	48	26,386.56
Planta Soldar	90.30	24	2,167.20
			<u>\$41,516.48</u>

Cargo = $\frac{\$ 41,516.48/t}{90 \text{ M}^3} =$ \$ 461.29/m3

9.-CIMBRA DE CONTACTO.

A) Colocación de Cimbra.

I.- Mano de Obra.

1 Cabo.	\$ 2,237.02/t
8 Carpinteros.	14,458.24/t
16 Ayudantes.	26,729.60/t
4 Soldadores.	6,899.04/t
1 Op. Grúa Torre.	2,459.63/t
2 Peones.	2,178.82/t
	<u>\$ 54,962.35/t</u>
3% Herr. Eq. Seg.	1,648.87/t
	<u>\$ 56,611.22/t</u>

Cargo = $\frac{\$ 56,611.22/t}{90 \text{ M}^3} \times 8 \text{ turnos} =$ \$ 5,032.11/m3

B) Habilitado de Cimbra.

3 Carpinteros	\$ 5,421.84/t
3 Ayudantes.	5,011.80/t
	<u>\$ 10,433.64/t</u>
3% Herr. Eq. Seg.	313.01/t
	<u>10,746.65/t</u>

TESIS PROFESIONAL	O B R A	FECHA
	CONCEPTO	OCTUBRE DE 1981
	PUENTE COATZACOALCOS II	
	PRECIO No. 9	

$$\text{CARGO} = \frac{\$ 10,746.65/t}{90 \text{ M}^3} \times 2 \text{ turnos.} = \$ 238.81/m^3$$

C) Descimbrado.

Se considerará la misma mano de obra de la colocación (Inciso C) = \$ 56,611.22/t

$$\text{CARGO} = \frac{\$ 56,611.22/t}{90 \text{ M}^3} \times 2 = \frac{\$ 1,258.03/m^3}{\$ 6,528.95/m^3}$$

II.-MATERIALES.

Descripción.	Unidad	Cant.	P.U.	Importe.
Barrotes de 2"x4"x8'	p.t.	550	10.66	\$ 5,863.00
Triplay de 5/8"x4"x8'	pza.	16	1,475.00	23,600.00
Madera de Pino 2"x8"x8'	p.t.	880	22.00	19,360.00
				<u>\$48,823.00</u>

$$\text{CARGO} = \frac{\$ 48,823.00 \times 1.10}{90 \text{ M}^3 \times 3 \text{ usos}} = \$ 198.90/m^3$$

Material Utilizado en Tensores y Yugos.

Varilla de 5/8"	Kg.	169	18.60	\$ 3,143.40
Varilla de 1 1/2"	Kg.	644	18.60	\$14,169.00
				<u>\$17,311.40</u>

$$\text{CARGO} = \frac{\$ 17,311.40 \times 1.15 \text{ desp.}}{90 \text{ M}^3} = \$ 221.20/m^3$$

Pérdida de Material en la parte inferior del Diafragma por ahogamiento.

Tablón 2"x12"x5'	p.t.	327.8	22.00	7,212.92
Vigueta 1 de 4"	Kg.	704.5	29.00	20,445.00
Polines de 4"x4"x8'	p.t.	550	10.60	5,863.00
				<u>\$33,520.92</u>

TESIS PROFESIONAL	C B R A	FECHA
	CONCEPTO	OCTUBRE DE 1981
	PUENTE COATZACOALCOS II	
	PRECIO No. 9	

$$\text{Cargo} = \frac{\$ 33,520.92}{90 \text{ M}^3} = \$ 372.45/\text{m}^3$$

CARGO POR MATERIALES. \$ 792.55/m³ \$ 7,321.50/m³

III.-EQUIPO.

	\$/hr.	hr.	Importe.
1 Grúa Torre Móvil	1,068.04	6	6,408.24
2 Soldadoras	90.30	3	1,444.30
1 Planta de Luz.	549.72	3	1,649.16
1 Grúa HIAB.	587.40	4	2,349.60
			<u>\$ 11,851.80</u>

$$\text{Cargo} = \frac{\$ 11,851.80}{90 \text{ M}^3} \times 2 = \$ 263.37/\text{m}^3$$

10.-CURADO.

Del Costo Básico "J" \$ 167.24/m³

COSTO DIRECTO. \$ 26,238.47/m³

INDIRECTOS Y UTILIDAD 47% \$ 12,332.08/m³

PRECIO UNITARIO. \$ 38,570.55/m³

CONCLUSIONES.

El progreso de un país reflejado en su tecnología, motiva el apoyo de infraestructura acorde a su desarrollo, de manera tal, que las soluciones de carácter prioritario se elaboran como satisfactores de la demanda de servicios.

El incremento de los puentes en las carreteras de México muestra la preocupación que existe en el Gobierno por -- crear una red de carreteras verdaderamente funcional, evitando los pasos por medio de barcazas o pangas que complican la transitabilidad de los caminos.

El crecimiento económico de la nación a partir del auge petrolero, ha propiciado que el desarrollo previsto para algunas regiones del país, se vea totalmente alterado por la concurrencia masiva de diversas actividades productivas, ante lo cual, la capacidad de servicio de la infraestructura existente, se ve rápidamente rebasada. Esta situación produce los -- llamados "cuellos de botella", que impiden el sano crecimiento económico de la región y por ende del país.

Este es el caso de la zona del Sureste, área de crecimiento y plena concurrencia de sectores industriales y de servicios relacionados con la producción petrolera, donde se han construido los más grandes complejos petroquímicos, tales como : La Cangrejera, Pajaritos, Cosoleacaque y Morelos, y que

ha obligado a realizar un gran número de obras de la más diversa índole para la satisfacción de las necesidades de los habitantes de dicha región.

El intercambio producido por el manejo de productos derivados del petróleo ha originado un intenso tráfico en la carretera que une las ciudades de Minatitlán, Coatzacoalcos y Villahermosa, ya que además, dichos lugares, son puntos obligados para la circulación de vehículos que provienen del Altiplano Central con destino hacia otras ciudades de los Estados de Tabasco, Chiapas, Campeche, Yucatán y Quintana Roo.

La problemática aumenta ya que el puente que cruza el Río Coatzacoalcos consta de una parte levadiza que permite el paso de los buques hacia la Refinería de Minatitlán, lo que impide el tránsito de vehículos a través de él, originándose con ello, largas filas de automóviles y camiones que esperan la oportunidad de pasar.

Esta situación, representa golpes a la economía de la zona, debido a la tardía distribución de los productos agropecuarios, industriales, pesqueros y energéticos, que no llegan con la debida prontitud a los centros de consumo; así como la innumerable pérdida de horas hombre, causada por el desperdicio de tiempo y energía de los trabajadores.

Por si fuera poco, el tramo carretero Minatitlán - Coatzacoalcos, de 24 kms. de longitud, alcanza el triste récord de ser uno de los de más alta incidencia de accidentes.

La solución tomada para resolver todos estos problemas fue : un libramiento a las ciudades de Minatitlán y Coatzacoalcos con una longitud aproximada de 30 kms. y que une las localidades de Cosoleacaque y Nuevo Teapa; siendo la estructura principal el Puente Coatzacoalcos II.

La localización del cruce sobre el río, para la construcción del nuevo puente, se vió determinada por : las características geológicas del suelo, que influyeron directamente en el tipo de cimentación; la topografía del terreno, que incidió en la longitud de la estructura; el costo de los tramos carreteros en los accesos, ya que se buscó alojarlos en la menor longitud dentro de la zona pantanosa y por los estudios para el desarrollo industrial, portuario y de asentamientos humanos que propiciaron la elección de la ruta.

En cuanto al tipo de estructura, se determinó que sería de concreto, ya que el ambiente de la zona es muy hostil y altamente corrosivo por efecto de las industrias petroquímicas y por la salinidad, siendo que dicho material es más resistente a estos productos de desecho y con mejor comportamiento para soportar cargas por viento. Considerando las característi-

cas del puente en servicio y los volúmenes de tránsito carretero y fluvial, se estableció que el Puente Coatzacoalcos II debería permitir el paso simultáneo de vehículos y embarcaciones, para evitar las largas colas que son características en el centro. Por otra parte y para evitar un posible accidente de alguna embarcación no se alojaron apoyos de la estructura dentro del mar.

Dada la importancia de la obra y en particular para el tramo principal, se realizaron diversos estudios de carácter especial y algunos de ellos por primera vez en el mundo, por ejemplo: para definir el tipo de cimentación profunda, para determinar la influencia de la respuesta sísmica del puente, para la estabilidad aerolástica del tablero, para la elección del acero de los tirantes, anclajes de éstos en el mástil, y para la distribución de esfuerzos en las pilas principales, en los mástiles y en el tablero.

En cuanto a los procedimientos de construcción utilizados, éstos fueron determinantes para resolver los problemas técnicos encontrados, por las características que presentan tanto la obra como la zona. Esto obligó a la mejor utilización de los recursos disponibles y determinó la optimización de los costos. Siendo estos procedimientos, innovadores en la construcción de puentes en México, tanto para la cimentación, como para la subestructura y la superestructura.

Para la cimentación se tomaron en cuenta la estratigrafía y propiedades del subsuelo deducidas de la exploración efectuada, así como la alta magnitud de las descargas que transmite la estructura. Se determinó que la cimentación a considerar, es del tipo profundo en la margen izquierda, donde el estudio de mecánica de suelos indicó que se trata de suelos de alta compresibilidad y poca resistencia al esfuerzo cortante; y en la margen derecha a base de cimentación superficial ya que la zona está formada por lomeros con suelos poco compresibles, siendo la excepción la del apoyo 4 que tuvo que ser profunda debido a la magnitud de las cargas.

En la margen derecha, la cimentación de los apoyos son a base de zapatas de concreto reforzado. La cimentación de las pilas principales consiste en un haz de 18 pilas de concreto de 2.50 m. de diámetro por 25 m. de profundidad, coladas en el lugar dentro de un área circular de 30 m. de diámetro; sobre ellas se asienta una zapata de 5 m. de espesor. En la parte del viaducto se emplearon cilindros de concreto reforzado de 6 m. de diámetro con profundidad de hincado del orden de 37 m.

Para la subestructura, en términos generales y dado lo previsto en el diseño del cuerpo de las pilas, para su construcción se empleó cimbra deslizante, salvo en el último tramo de las pilas principales 4 y 5, donde se utilizó un molde tra-

dicional autoportable. El movimiento ascendente de los moldes se obtenía mediante la acción de gatos hidráulicos operados eléctricamente, con velocidades del orden de 20 cm. a 25 cm. por hora, suficiente para permitir una resistencia adecuada en el concreto.

El procedimiento de cimbra deslizante logró el abatimiento de los tiempos de ejecución, ya que se podía colar una pila en un periodo de 3 a 4 días dependiendo de la altura. Esto contribuyó a la disminución de los costos y por ende, a la economía total de la obra.

Además, este sistema es de una gran versatilidad, pues logra prácticamente cualquier forma de sección de una estructura y variaciones por tramo en el espesor de las paredes. Lo que hace que este procedimiento sea muy utilizado en el mundo para construir pilas de puente y otras estructuras como: batería de silos, torres para faro, edificios completos, núcleos para elevadores, etc.

La superestructura es de concreto presforzado, de sección cajón de 3 m. de peralte y paredes inclinadas, el ancho total es de 18.10 m. y aloja dos carriles de circulación de 7m. para un total de cuatro líneas de tránsito del tipo HS-20, separados por un camellón central y con banquetas laterales. Su construcción se llevó a cabo por el sistema de doble voladizo.

Este procedimiento se utilizó en el Puente Coatzacoalcos II por presentar muchas ventajas como son: la supresión de la cimbra, con lo que se consigue que se esté a salvo de crecidas y de los imprevistos y además que no se interrumpe la circulación en las vías franqueadas. Otra ventaja es la rapidez de ejecución, y por último, su precio, que le ha permitido competir con éxito con la construcción metálica, en un campo que esta monopolizaba antes.

Este procedimiento también presenta ciertos aspectos difíciles, principalmente para el cálculo. El volumen de cálculos necesarios es mucho mayor que para otros tipos de obras. El proyecto de una obra de este tipo debe tener muy en cuenta el factor tiempo, ya que a causa de la duración de la construcción, comienzan a aparecer las propiedades no elásticas de los materiales puestos en obra. Los efectos de agrietamiento en el concreto y la fluencia del acero plantean delicados problemas de reglaje de los voladizos y de redistribución de esfuerzos en las estructuras que se hacen continuas.

El desarrollo de estas estructuras no habría sido tan importante si no hubiese habido la posibilidad de recurrir sistemáticamente a programas complejos de cálculo electrónico en las más modernas computadoras.

La construcción del mástil se llevo' a cabo mediante cimbra convencional en tramos de 3 m. y para la colocación del concreto se usó bombeo y rebombeo, así como una grúa torre para la parte más alta.

La utilización de tirantes en la construcción del Puente Coatzacoalcos II fue de gran importancia, ya que al ser el claro principal de 288 m., el no utilizarlos implicaría peraltes muy grandes del tablero en los apoyos y al centro del claro, pero con el atirantamiento, el peralte es constante de 3 m. a lo largo de la estructura. Además los puentes atirantados presentan ciertas ventajas sobre las estructuras metálicas como son: mayor rigidez, ahorro de peso en los cables, ahorro de peso en la estructura y mejor estabilidad aerodinámica.

Los principales materiales empleados son los siguientes: concretos con resistencias de ruptura a la compresión de 250, 300, 350 y 400 kg/cm² para cimentaciones, cuerpos de pila, tablero y elementos prefabricados, respectivamente; acero para refuerzo con límite de fluencia de 4000 kg/cm² en varillas corrugadas hasta de 30 mm. de diámetro; acero para presfuerzo en alambres de 7 mm. de diámetro y torones de 13 mm. y 15 mm. de diámetro con resistencias a la ruptura de 165 kg/mm² y 185 kg/mm² respectivamente, para formar cables de presfuerzo transversal, longitudinal, vertical; e integrar los tirantes del tramo principal.