



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL PUENTE
"LA FIGUA II" EN VILLAHERMOSA, TABASCO**

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A :
GERMAN ISLAS MEDEL



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL PUENTE "LA FIGUA II" EN VILLAHERMOSA, TABASCO

I N D I C E

I.-	INTRODUCCION	1
II.-	ANTECEDENTES	5
II.1	GENERALIDADES	6
II.2	VIAS DE COMUNICACION	13
III.-	ESTUDIOS BASICOS Y DESCRIPCION DEL PROYECTO	16
III.1	ESTUDIOS BASICOS	16
III.1.1	ESTUDIOS TOPOGRAFICOS	16
III.1.2	ESTUDIOS HIDRAULICOS	17
III.1.3	ESTUDIOS GEOLOGICOS	18
III.1.4	ESTUDIOS ECONOMICOS	18
III.2	DESCRIPCION DEL PROYECTO	19
III.2.1	CARACTERISTICAS Y DESCRIPCION DE LA OBRA	21
IV.-	PRESUPUESTO Y PROGRAMA DE OBRA	23
IV.1	PRESUPUESTO	23
IV.2	PROGRAMA DE OBRA	25
IV.2.1	RUTA CRITICA	30

V.-	PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO	36
V.1	GENERALIDADES	36
V.2	INFRAESTRUCTURA (HINCADO DE CILINDROS)	39
V.3	SUBESTRUCTURA (FILAS Y CABALLETES)	48
V.4	SUPERESTRUCTURA (DOVELAS TIPO CAJON EN DOBLE VOLADIZO)	50
VI.-	CONCLUSIONES	70
VII.-	ANEXO	
VII.1	RELACION DE PLANOS	
VII.1.1	PLANO No. 1 PLANO GENERAL	
VII.1.2	PLANO No. 2 CILINDROS	
VII.1.3	PLANO No. 3 FILAS	
VII.1.4	PLANO No. 4 CABALLETES	
VII.1.5	PLANO No. 5 DOVELAS	
VIII.-	BIBLIOGRAFIA	

I.- INTRODUCCION

El puente es una estructura de madera, piedra, ladrillo, concreto simple, concreto armado o acero estructural, que se utiliza para que una vía de comunicación pueda salvar un río, una depresión de terreno u otra vía de comunicación.

Entre los primeros puentes podemos citar los "naturales", como, por ejemplo, el tronco de un árbol caído. Después, tenemos los hechos por los egipcios, siendo el rey Menis el primero en hacer un puente. Los romanos construyeron muchos puentes de madera y grandes arcos de mampostería. De mampostería se desarrollaron mucho los puentes en arco. Inglaterra fue el primer país que usó las estructuras metálicas. En China se usaron los puentes colgantes. En los Estados Unidos de América, los puentes utilizaban mucho los cantiliver.

Los puentes, propiamente dichos, son estructuras de más de 6 metros de largo y que por lo regular no llevan colchón de tierra sobre ellos.

La estructura de un puente está formada por la superestructura, la subestructura y la infraestructura, tal y como se muestra en la Fig. 1 y se explica a continuación.

La superestructura puede estar formada de diferentes maneras, así por ejemplo, de piso de madera sobre largueros de madera, losa de concreto armado sobre traveses de acero estructural, losa de

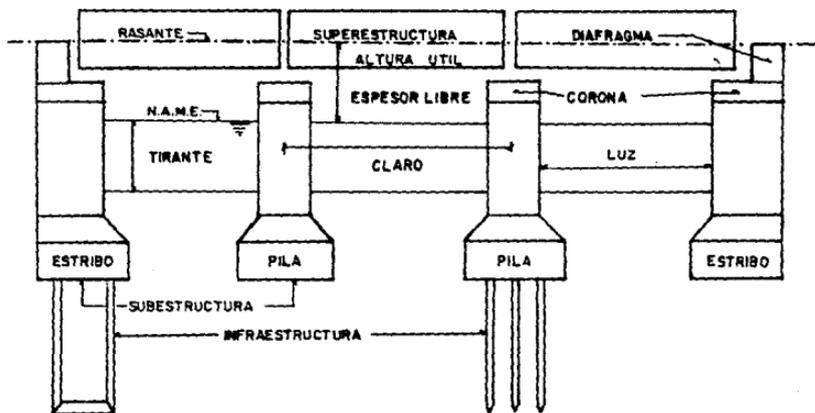


FIG. 1 ESTRUCTURA DE UN PUENTE.

concreto armado con nervaduras de acero estructural, arcos de mampostería o de concreto, arcos metálicos, armaduras de acero, colgantes, levadizos, basculantes, giratorios, etc.

La subestructura puede ser de caballete de madera, caballetes de concreto armado, pilas y estribo de mampostería, torres metálicas sobre bases de concreto, pilas y estribos de concreto ciclópeo o simple y pilas y estribos de concreto armado.

La infraestructura, puede estar constituida de bases de mampostería o de concreto, pilotes, cilindros de fricción, etc.

Los puentes por su uso pueden ser divididos en puentes para caminos, ferrocarriles, mixtos, canales y para peatones; según su duración pueden ser provisionales y definitivos; por su condición en fijos, móviles y desmontables; por la forma de efectuar el cruce en normal y diagonal; si los puentes cruzan otra vía de comunicación pueden ser de paso superior o de paso inferior.

Relacionando los conceptos anteriores se puede dar la siguiente definición: "Un puente es un sistema estructural formado por un conjunto de elementos combinados en forma ordenada para realizar la función de enlace en la vía o camino", por lo que el puente se debe concebir como parte de un sistema general de vías de comunicación.

Es fundamental hacer que los puentes, al igual que otras estructuras, cumplan con la función a la que están destinadas en



FIG. 2 LOCALIZACION GEOGRAFICA.

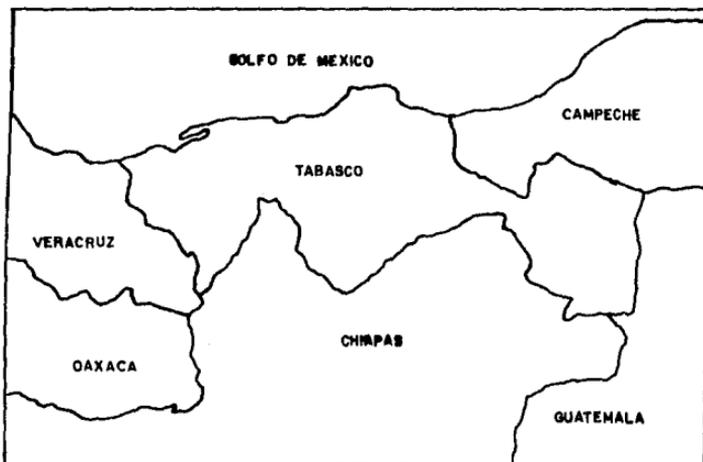


FIG. 3 LIMITES.

condiciones normales de operación, con un grado de seguridad adecuado y una inversión inicial razonable; además deberán satisfacer requerimientos estéticos (en todo lo posible serán congruentes con el paisaje y en armonía al lugar donde se encuentren).

En la actualidad existen diferentes procedimientos constructivos de puentes, entre los que podemos citar los siguientes:

- Puentes construidos en doble voladizo.
- Puentes colgantes.
- Puentes atirantados.
- Puentes empujados.

El sistema de construcción de puentes en doble voladizo, se aborda en el presente trabajo, siendo dicho sistema el empleado en la construcción del puente "LA FIGUA II" en Villahermosa, Tabasco.

Dicho sistema de construcción, se aplicó por primera vez en la construcción del puente de Peixe en el estado de Santa Catharina en Brasil, en el año de 1930, siendo este puente de concreto reforzado. Posteriormente, con el desarrollo de las técnicas del concreto presforzado, el sistema de doble voladizo adquirió su herramienta más valiosa, la cual le permitió llevar a cabo realizaciones como la de los puentes de Coblenza y Nibelungos en Alemania y más tarde, los puentes de Brest, Tocantais y el Incienso; en Francia, Brasil y en la República de Guatemala respectivamente, por citar algunos.

Teniendo ya cierta idea de lo que implica la conformación de un puente, cabe señalar que el objetivo del presente trabajo es desarrollar el procedimiento constructivo del puente "LA FIGUA II", exponiendo los problemas particulares de su constitución y ejecución.

Dicho trabajo se desarrollará en seis capítulos. En el primero se da una breve introducción. El segundo trata los antecedentes, el cual se refiere a el por qué de la construcción de esta obra y de las generalidades del Estado de Tabasco, lugar donde se encuentra ubicada dicha obra. El segundo nos habla, tanto de los estudios básicos que se requieren realizar para este tipo de obras, como de la descripción del proyecto. En el tercer capítulo, se muestra el presupuesto y programa de obra, en los cuales se valua el costo y el tiempo respectivamente de los diferentes conceptos de obra que integran este puente en su totalidad. Y en el cuarto capítulo, se describe el procedimiento constructivo del puente "LA FIGUA II", desarrollando cada una de la etapas constructivas que integraron dicha obra. Y finalmente en el sexto capítulo, se expondrán brevemente las conclusiones originadas de la descripción de este trabajo.

II.- ANTECEDENTES

El puente "LA FIGUA I", es el único acceso que existe para comunicar a la ciudad de Villahermosa, Tab., con el Parque Industrial y el Municipio de Frontera; esta zona es de gran movimiento para las actividades económicas de la región, tanto del sector primario, secundario así como del terciario.

Debido a ello, en horas pico se forma un congestionamiento, que se prolonga hasta casi el centro de Villahermosa.

Resulta obvio que el puente "LA FIGUA I", es insuficiente para satisfacer la demanda de circulación de vehículos; por otro lado, dicho puente también se encuentra en condiciones estructurales lamentables, razón por la cual se tomó la decisión de llevar a cabo la construcción de un puente adjunto "LA FIGUA II", con un trazo paralelo al puente ya existente y localizado a una distancia de entrejes de ± 10.00 m.

Con la construcción del puente "LA FIGUA II" y la reparación posterior del "FIGUA I" se estima que se logrará una buena solución a los problemas mencionados anteriormente y ayudarán aún más al progreso del estado de Tabasco y en particular tanto a la ciudad de Villahermosa, como al municipio de Frontera.

II.1 GENERALIDADES

A) HISTORIA DEL ESTADO DE TABASCO

El territorio que actualmente ocupa el estado de Tabasco, aparte de su riqueza natural, lo es también en el aspecto histórico y de tradiciones.

La región de Tabasco estuvo poblada en la antigüedad por los olmecas, creadores de la cultura de la zona y por indígenas de la familia maya quiché.

La primera expedición que fue enviada a esta comarca por Don Diego de Velázquez en el año de 1518, estuvo al mando de Don Juan de Grijalva, la cual arribó a la desembocadura de un río, el que fuera bautizado con el nombre de Río de Grijalva en honor del comandante de la expedición, nombre que conserva hasta nuestros días. Esta expedición se retiró sin hacer intentos de colonizar la región, ya que sólo permanecieron tres días en suelo tabasqueño.

Posteriormente, en 1519 Diego de Velázquez envió una nueva expedición, esta vez al mando de Hernán Cortés, quien siguió la misma ruta de Juan de Grijalva. Después de una gran caminata, Cortés y su tropa encontraron hostilidad de parte de los lugareños, librándose una feroz batalla conocida como la Batalla de Centla que fue ganada por los españoles, la cual fue rubricada como la fundación de la primera Villa en territorio mexicano, a la

cual se le denominó Villa de Santa María de la Victoria y desde ese día, a Tabasco se le llamó con ese nombre o Villa de Tabasco.

En el aspecto religioso, Santa María de la Victoria además de haber sido la primer población fundada en la Nueva España, tiene un valor muy significativo, ya que en ese lugar se celebró la primer misa en suelo mexicano, oficiada por Fray Bartolomé Olmedo, llevándose a cabo también el bautismo de veinte esclavas que habían sido regaladas a Cortés, entre las que se encontraba la Malinche y a quien en esa ocasión se le puso el nombre de Marina.

Los pobladores hispanos de la primer Villa de Tabasco, se vieron obligados a emigrar hacia el Sur, debido a las constantes incursiones de los piratas ingleses, dando lugar este éxodo, a la fundación de la Villa de Felipe II, que después se llamó San Juan de Villahermosa y luego San Juan Bautista de Tabasco, lugar donde en nuestros días se encuentra la capital del Estado, Villahermosa, a la que se le dió la categoría de ciudad hasta el 27 de Octubre de 1826.

B) LOCALIZACION

Receptor de fuertes precipitaciones pluviales, Tabasco es una verde, feraz y amplia llanura surcada por caudalosos ríos, con un sinnúmero de afluentes.

El Estado de Tabasco, se localiza en la porción oriental Sur de la República Mexicana, inmediatamente al Oriente de la parte Norte

del Istmo de Tehuantepec. Puede delimitarse geográficamente entre los 17°15' y 18°39' de latitud Norte y entre los 91°00' y 94°07' de latitud Oeste; enclavado en la región Sureste del país, en la llanura costera del Golfo. Ocupa una superficie territorial de aproximadamente 25,000 Km²; 185 Kms de costa tabasqueña es bañada por el Golfo de México (ver fig. 2).

C) LIMITES

En la fig. 3 se muestran los límites del estado de Tabasco, siendo estos los siguientes:

Limita al Norte con el Golfo de México a lo largo de la costa, en una extensión de 185 kms aproximadamente.

Al Nororiente y Oriente limita con el Estado de Campeche y con la República de Guatemala, siendo su límite natural con Campeche en la parte Norte, el Río San Pedro y San Pablo.

Por el Sur limita con la República de Guatemala (Depto. de Alta Verapaz) y con el estado de Chiapas. En este último caso, algunos tramos del Río Usumacinta y varios de sus afluentes constituyen un límite natural.

Al Poniente y Surponiente limita con el estado de Veracruz, apareciendo como límite natural el Río Tonalá.

D) CLIMA

El clima es factor importante para la vida del hombre y su desarrollo; sus determinantes son: humedad y temperatura, dependiendo estos dos factores de cuatro puntos básicos a saber:

- I.- Latitud
- II.- Altitud
- III.- Vientos dominantes y lluvias
- IV.- Tipos de suelo

I.- Tabasco, por su posición geográfica, está sujeto al ardiente sol de la zona del trópico; en consecuencia su clima es cálido. Las temperaturas en el Estado son como se indica a continuación:

- Temperatura mínima 15° a 20°C (Enero - Febrero)
- Temperatura máxima 40° a 46°C (Abril - Mayo - Junio)
- Temperatura media anual 27°C

II.- El estado de Tabasco es casi en su totalidad una inmensa llanura con escasos accidentes orográficos. Las elevaciones máximas no exceden de los 1000 metros sobre el nivel del mar, pudiéndose considerar una elevación en la llanura de 15 a 30 m.s.n.m.

III.- Los vientos dominantes en Tabasco provienen del Noreste; los vientos alisios se encuentran en el periodo de Julio a Septiembre, presentándose con chubascos torrenciales provocados por tormentas tropicales provenientes del mar de las Antillas y se prolongan de

Octubre a Marzo, época que se conoce como la "estación de los nortes", caracterizada por lluvias pertinaces acompañadas por vientos con velocidades mayores de 40 Kms/hr.

En las épocas sin lluvias dominan los vientos del Norte con una velocidad de 25 Kms/hr aproximadamente.

La precipitación media anual de lluvia varía de 1,500 mm en la zona costera, hasta 5,000 mm en la zona de la sierra, siendo la lluvia del tipo estacional.

La evaporación es relativamente reducida, pues su valor medio anual es de 950 mm, siendo la máxima evaporación registrada de 2,000 mm y la mínima de 500 mm en un periodo considerable (42 años) de observación.

IV.- Los suelos están constituidos, esencialmente, por materiales de acarreo de los ríos. Predominan en Tabasco los suelos arcillosos.

La constitución de los suelos tabasqueños (que en su mayor parte son llanuras de aluvión) los hace inmejorables para la agricultura, sobre todo de cultivos perennes tales como el cacao, el plátano y el coco.

En si los suelos de Tabasco se pueden distribuir como se indica a continuación:

a).- Planicie de Cardenas: planos con altitudes menores de 100 metros. Suelos aluviales; arcilla limosa; manto freático poco profundo; inundable en época de lluvias; color gris oscuro.

b).- Aledaños de la Sierra: planos con pendientes del 11%; profundos; gran cantidad de materia orgánica; textura limosa; bien drenados; color pardo oscuro.

c).- Escarpados de la Sierra: pendientes mayores del 75%; suelos someros; textura arcillosa; gran cantidad de materia orgánica; color negro.

d).- Suelos de zonas con alturas menores de 30 mts y depresiones a lo largo de la llanura costera: carecen de perfil; dos capas de deposición reciente; primera capa textura arcillosa; color pardo oscuro; profundidad de 5 a 60 cms.

e).- Dunas: franja a lo largo de la costa; anchura de 0.5 a 20 kms; suelos profundos; sin perfil desarrollado; textura arenosa sin estructura; permeable; manto freático muy somero; problemas de drenaje.

f).- Vegas de los ríos: planos; típicos aluviales; más de un metro de profundidad; sin perfil desarrollado; textura limosa-arenosa; color uniforme pardo oscuro.

E) POBLACION

En base a los datos preliminares del censo de 1980 su población se cataloga como predominantemente joven, ya que sus pobladores de menos de 1 año a 20 años de edad integran el 60% de la población total.

Según los censos de 1980, la población estaba integrada como sigue:

La población rural el 66.5% y la urbana el 33.5% .

F) ASPECTO ECONOMICO

En esta región se dividen las actividades económicas en tres sectores:

Un sector primario: que incluye a la agricultura, la ganadería, la silvicultura y la pesca.

Un sector secundario: que comprende las actividades de extracción y procesamiento de materiales susceptibles de ser convertidas en bienes de consumo o útiles para su producción.

Un sector terciario: que abarca a las actividades comerciales y de servicios.

II.2 VIAS DE COMUNICACION

Tabasco es uno de los Estados de la República Mexicana que ha logrado un mayor desarrollo económico en los últimos años, como resultado de la intensa actividad petrolera que ha tenido lugar en su territorio y en el de algunos lugares del vecino Estado de Chiapas.

Consecuentemente, ha sido necesario desarrollar una infraestructura de comunicaciones terrestres, que ha dado lugar que a la fecha se cuente con una vasta red de caminos, que enlazan prácticamente todos los poblados de primera o mediana importancia del Estado.

Se comunica con el resto del país por la carretera federal 180 que forma parte del Eje Costero y que atraviesa todo el Estado, extendiéndose hasta la parte Norte de la Península de Yucatán. Cuenta también con las carreteras federales 186 y 195 que comunica a la capital del Estado de Chetumal, Quintana Roo y con Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, respectivamente, formando estas, un círculo turístico de primer orden. Existe además una vasta red de carreteras estatales y caminos de terracería, que en general entroncan con las carreteras federales antes mencionadas.

El ferrocarril del Sureste, que va de Coatzacoalcos, Veracruz, a Mérida, Yucatán, atraviesa el Estado de Tabasco por su porción Sur, con un desarrollo dentro del Estado de 301 kms. Independientemente de la vasta red de caminos vecinales existen numerosas brechas que comunican rancherías y poblados de menor

importancia, así como los campos petroleros.

La red de carreteras de Tabasco está integrada por 5,500 kms aproximadamente, de las cuales 1,900 están pavimentadas, 2,250 revestidas, 800 de terracerías y 550 kms de tipo mixtas construidas por Petróleos Mexicanos.

Por otra parte, la amplia red de ríos y arroyos que cruzan el territorio tabasqueño en todas direcciones, constituyen un sistema de comunicación fluvial que desempeña un papel relevante en el desarrollo del comercio y manejo de productos agropecuarios, así como en el transporte de personas.

La capital del Estado, cuenta con los servicios aéreos regulares que prestan las dos líneas aéreas nacionales más importantes del país y una compañía particular, teniendo en servicio un funcional aeropuerto internacional situado a 15 Kms de Villahermosa.

El Estado cuenta con 4 pistas de aterrizaje asfaltadas, en La Venta, Cd. PEMEX, Cárdenas y San Pedro Balancán y 12 aeródromos municipales. Existen 4 empresas locales de aviación que dan servicio a 20 localidades de Tabasco comunicándolas con Chiapas, Campeche y Veracruz. Además, algunos de los campos petroleros existentes en el Estado, cuentan con pistas de aterrizaje propias para avionetas o aeronaves pequeñas. Tabasco cuenta con dos puertos de cabotaje, siendo el más antiguo el de Frontera, Dos Bocas, donde se encuentra la terminal marítima "Dos Bocas" de Petróleos Mexicanos.

Existen dos retransmisoras de televisión y dos estaciones locales, así como 13 estaciones de radio distribuidas en 7 localidades, servicio de Télex en la capital del Estado; una red de microondas (Mérida-Villahermosa-Córdoba-México), 40 oficinas de telégrafos con 1,200 Kms de líneas telegráficas en 24 localidades; 42 oficinas de correos y 65 oficinas de Teléfonos de México S.A., en el Estado.

III.- ESTUDIOS BASICOS Y DESCRIPCION DEL PROYECTO

III.1 ESTUDIOS BASICOS

Los estudios preliminares de campo, son indispensables para llevar a cabo la realización del proyecto de cualquier obra, ya que en base a estos estudios y al mismo proyecto, se podrá elegir el procedimiento constructivo a emplear, para poder llevar a cabo la construcción y conclusión de la obra.

Los estudios de campo que son necesarios efectuar para el proyecto de los puentes se pueden dividir en cuatro grandes partes: estudios topográficos, hidráulicos, geológicos y económicos.

III.1.1 ESTUDIOS TOPOGRAFICOS

Al rendir un informe sobre los estudios topográficos llevados a cabo para la construcción de un puente, además de dar el nombre del río o barranca, camino correspondiente, tramos de camino en el cual se encuentra, etc., es imprescindible se rindan los siguientes datos:

- a) Origen del kilometraje.
- b) Plano en planta a escala 1:200, mostrando el eje del camino, curvas de nivel, dirección del cauce, construcciones cercanas y datos importantes.
- c) Angulo que forma el camino con el eje de la corriente.
- d) Elevación y descripción del banco de nivel más próximo.
- e) Planos de localización correspondientes a un kilómetro a cada

lado de la obra.

f) Elevación de la subrasante que resulte más adecuada.

g) Importe de las indemnizaciones que tendrían que hacerse al llevarse a cabo la obra.

III.1.2 ESTUDIOS HIDRAULICOS

Los datos hidráulicos de mayor importancia pueden resumirse así:

a) Una sección en el cruce y dos secciones auxiliares aguas arriba y aguas abajo a escala 1:200 considerando: nivel de aguas mínimas, nivel de aguas máximas ordinarias, nivel de aguas máximas extraordinarias, pendiente del fondo del cauce o de la superficie del agua en una extensión de 200 m a cada lado del eje.

b) Coeficiente de rugosidad del cauce.

c) Velocidad superficial indicando el procedimiento usado.

d) Frecuencia y duración de las crecientes máximas extraordinarias, época del año en que se efectúa y dimensiones aproximadas del material de arrastre.

e) Si el cauce es estable o divagante o si tiene tendencias a divagar.

f) Si la corriente deposita o socava.

g) Si hay que efectuar alguna canalización.

h) Si el remanso afectará propiedades vecinas.

i) Claro mínimo de los tramos y espacio libre vertical para el paso de los cuerpos flotantes.

j) Datos sobre puentes construidos aguas abajo y aguas arriba próximos al cruce, tales como su longitud, longitud mínima de tramo, altura de la subrasante sobre el fondo, área hidráulica, si

es o no suficiente el puente, separación entre pilas y pendiente del cauce en el cruce.

III.1.3 ESTUDIOS GEOLOGICOS

Los datos correspondientes a los estudios geológicos serán:

- a) Características generales de los materiales que forman el fondo y las márgenes de la corriente.
- b) Corte geológico indicando los materiales del subsuelo y el nivel de las aguas freáticas, enviando muestras inalteradas y alteradas.
- c) Carga admisible aproximada que puede soportar cada estrato del subsuelo.

III.1.4 ESTUDIOS ECONOMICOS

Los datos económicos necesarios para un buen estudio del puente y que deben ser enviados en el informe de localización del mismo son los siguientes:

- a) Salarios medios en la región para diferentes categorías.
- b) Costos de los diversos materiales en el lugar de la obra.
- c) Cubicación de los diferentes bancos de materiales.
- d) Vías más próximas de comunicación.
- e) Clima dominante en la región.
- f) Enfermedades de la región.

III.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Los estudios topográficos, geológicos y del subsuelo que se llevaron a cabo previamente al proyecto, así como los estudios hidráulicos y económicos, permitieron elegir el tipo de estructura por construir. Esta tiene una longitud total de 137 m, con un claro central de 65.30 y dos laterales de 35.85 m cada uno. La altura máxima es de 14.52 m, que va del nivel de la rasante al nivel de la superficie del agua. El sistema adoptado para su ejecución fue el de doble voladizo (ver Plano General 1 y fig. 4).

El proyecto del puente "LA PIGUA II", obra en voladizo, es del tipo de puentes de marcos continuos; donde existe la posibilidad de empotrar la superestructura sobre las pilas y formar marcos. En este caso, las pilas deben ser lo suficientemente flexibles para no introducirles esfuerzos importantes debidos a la deformación de la superestructura, bajo los fenómenos de contracción, flujo plástico y temperatura. En si la solución del aspecto estructural de la superestructura de la obra se presenta bajo el caso de PUNTES HIPERESTATICOS (ver fig. 5).

Las computadoras permiten ahora el cálculo de estas obras estáticamente complejas con rapidez y precisión. La experiencia adquirida permite determinar desde un principio, con bastante aproximación, los elementos mecánicos que se desarrollan en la estructura así como las deformaciones y el presfuerzo que se verifican y corrigen con la ayuda de datos suministrados a la computadora.

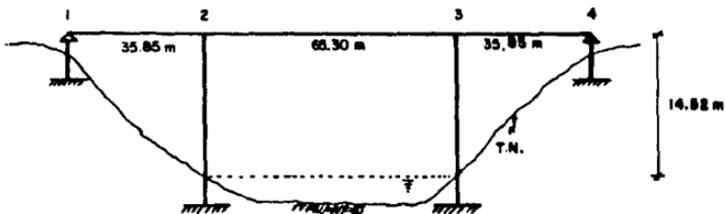
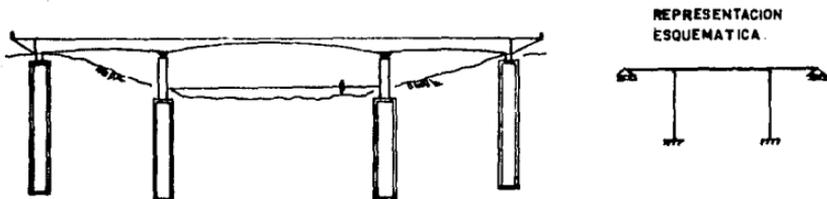


FIG. 4 DIMENSIONES GRALES. SEGUN PROYECTO.



PUENTE DEL TIPO DE MARCOS CONTINUOS,
CASO HIPERESTATICO.

FIG. 5 ASPECTO ESTRUCTURAL DE LA OBRA.

El proyecto de la estructura se inició con un cálculo aproximado de las partes fundamentales (cilindros, pilas, caballetes y dovelas), con objeto de definir en forma preliminar las dimensiones generales que sirvieron de base para el cálculo definitivo.

Para el estudio de la obra en voladizo, se supuso que la obra es del tipo de puentes de marcos continuos, cuya estructura resistente está formada por un cajón de concreto presforzado. Soportada en sus extremos sobre apoyos deslizantes y empotrada en las dos pilas intermedias. Estas a su vez se empotran en la cimentación, tal y como se muestra en la fig. 4.

El modo de construcción elegido para la superestructura incluye:

- Ejecución de dos ménsulas en doble voladizo.
- Estructura continua una vez hecho el colado de la dovela de cierre.

Para esto dividimos la ménsula en 11 dovelas, como se indica en la fig. 6.

1 Dovela de pila de 10.90 m.

1 Dovela de inicio de 2.20 m, enseguida de la dovela de pila.

8 Dovelas tipo de 3.05 m.

1 Dovela de cierre de 1.20 m.

1 Dovela de orilla de 3.80 m.

Con los elementos proporcionados por el cálculo de la estructura se procede al cálculo de la cimentación.

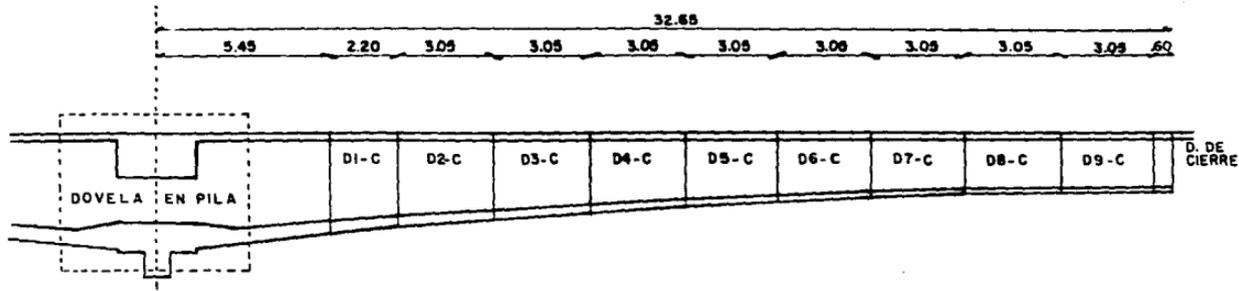


FIG. 6 DIVISION DE MENSULAS EN VOLADO.

Para este efecto, se llevaron a cabo estudios geológicos y de mecánica de suelos, que permitieron definir el tipo de cimentación recomendable para este caso. Esta fue una cimentación concebida a base de cuatro cilindros, dos de 5 m y dos de 6 m de diámetro.

Y por último se menciona que la profundidad de desplante de esta cimentación (cilindros), se selecciono tomando en cuenta dos factores: el primero, debido a que la superficie del terreno podría erosionarse y el segundo, por que dicha superficie no era lo suficientemente resistente para soportar la carga total del puente.

III.2.1 CARACTERISTICAS Y DESCRIPCION DE LA OBRA

El puente "LA FIGUA II", que es la obra en estudio, se encuentra localizado sobre el Río Carrizal, en el kilómetro 3+008 de la carretera Villahermosa- Cd. del Carmen, en el tramo Villahermosa - Cd. Industrial (ver croquis de localización en la fig. 7).

Dicho puente cubrira un claro de 137.00 m con un ancho de 8.75 m. Este puente, al igual que la mayoría de los de su naturaleza, están constituidos por las siguientes partes: una infraestructura, una subestructura y una superestructura; las cuales se describen a continuación.

La Infraestructura, refiriéndose a la cimentación, básicamente es del tipo profundo, constituida por 4 cilindros de concreto reforzado, de 6 y 5 m de diámetro, con paredes y espesores de 1.0

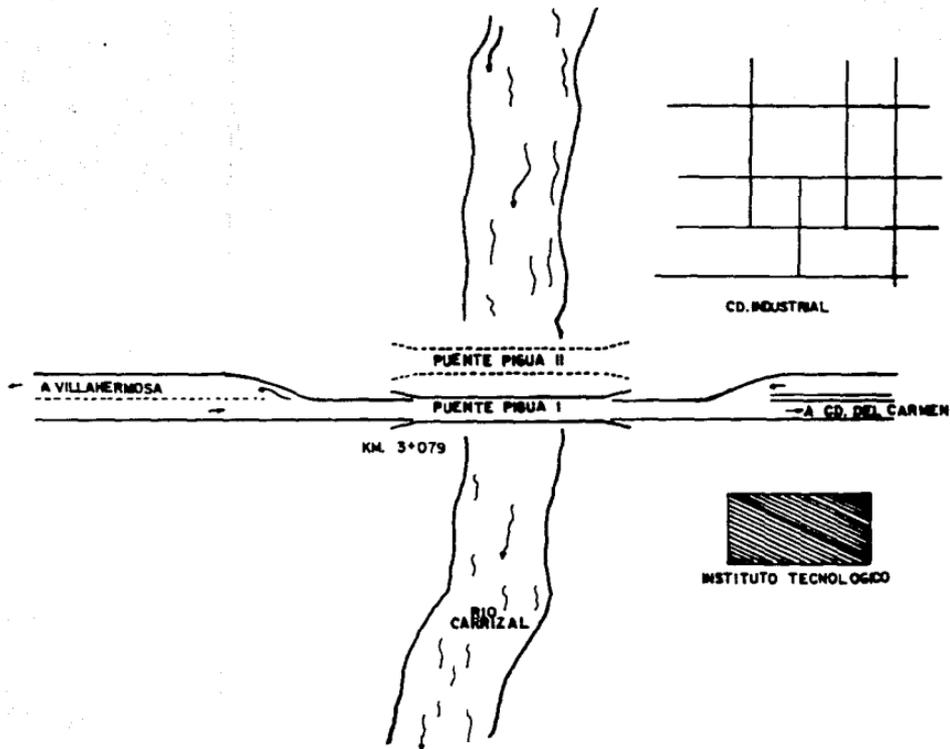


FIG. 7 CROQUIS DE LOCALIZACION.

m y 0.80 m respectivamente y con profundidades de hincado o desplante del orden de 30.00 m. La construcción de estos elementos se llevó a cabo por el sistema denominado "Pozo Indio".

La subestructura está constituida por dos pilas centrales y dos caballetes extremos; las pilas son huecas con una sección de 2.5 m x 7.7 m y con tajamares en los lados extremos frontales a la dirección de la corriente, teniendo estas una altura de 13.69 m. Los apoyos extremos o caballetes están formados por un cabezal con diafragma y aleros, además de dos columnas apoyadas sobre los cilindros.

Y por último la superestructura, realizada mediante el sistema de dovelas tipo cajón en doble voladizo; la cual está integrada por : 2 dovelas de pila, que son el inicio de la construcción de esta etapa; 36 dovelas de 3.05 m de longitud, de las cuales 4 son de 2.20 m, siendo estas dovelas de sección variable y encontrándose comprendidas en cuatro tramos; 1 dovela de cierre situada en el claro central y 2 dovelas de orilla colocadas una en cada uno de los caballetes (ver Plano General 1 y Plano de Dovelas 5).

IV.- PRESUPUESTO Y PROGRAMA DE OBRA

Existen tres áreas básicas o aspectos fundamentales en la construcción, sobre las cuales giran prácticamente todas las decisiones y de cuyo logro depende el éxito del proceso constructivo. Estos factores son: costo, tiempo y calidad. Nos referimos en este capítulo a los aspectos del costo y tiempo, relacionados con las obras de construcción, los procedimientos que existen para pronosticar estos parámetros, las herramientas y metodología usual, así como los mecanismos de control.

IV.1 PRESUPUESTO

PRESUPUESTO: Es el pronóstico de cuánto costará una obra, definida conforme a un proyecto integrado por un conjunto de planos y especificaciones.

Es también una parte de la planeación, cuyo objetivo es el de poder establecer el valor definitivo de una obra, antes de que se inicie su construcción.

Para la elaboración del presupuesto los principales puntos a seguir son:

- a) Definir un catálogo de conceptos siguiendo un orden predeter - minado.
- b) Cubicar las cantidades correspondientes a cada uno de los conceptos anteriores.
- c) Elaborar los Precios Unitarios de cada uno de los concepto de

trabajo, definidos con anterioridad en el catálogo de conceptos.

d) Aplicar los Precios Unitarios a las cantidades del catálogo de conceptos y sumar todos los importes para obtener el precio de la obra.

A continuación en la tabla I, se presenta el catálogo de conceptos que contempla todas las actividades o trabajos a realizar para llevar a cabo la construcción del puente "LA FIGUA II", dicho catálogo muestra cada uno de los puntos mencionados anteriormente.

CATALOGO DE CONCEPTOS Y CANTIDADES DE OBRA PARA EXPRESION DE PRECIOS UNITARIOS Y MONTO TOTAL DE LA PROPOSICION

No. DE CONCEPTO	DESCRIPCION DEL CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	IMPORTE	
<u>PARAPETO DE CALZADA</u>						
1	Concreto Hidráulico de f'c=250 Kg/Cm ² , incluye adquisición y acarreo de los materiales, elaboración, colocación, --- moldes, obra falsa en caso de ser necesaria, vibrado, curado y desmoldado.	M3	21.60	\$29,076.95	\$628,062.12	
2	Acero de refuerzo, varilla de grado 42 (L.E.=4000 Kg/Cm ²) incluye adquisición, acarreo, habilitado, armado y colocación.	KG	4,677.10	\$125.41	\$586,555.11	
3	Tubo de acero galvanizado Ced. 40, incluye adquisición, --- acarreo, habilitado y colocación de:	a) 2 1/2" de diámetro	KG	54.00	\$891.43	\$48,137.22
		b) 3" de diámetro	KG	1,675.00	\$284.64	\$482,464.80
4	Pernos de 2.54 # x 20 cm con tuercas, incluye adquisición, habilitado y colocación.	PZA	312.00	\$887.51	\$276,903.12	
5	Cortón asfaltado de 2.54 cm de espesor, incluye adquisición, acarreo, habilitado y colocación.	Dm3	51.20	\$275.68	\$14,114.82	
6	Sikaflex 1-A ó similar, incluye adquisición, habilitado y - colocación.	Dm3	2.70	\$2,469.39	\$6,667.35	
7	Acero estructural A-36, incluye adquisición, acarreo, habilitado, y colocación.	KG	1,326.00	\$212.28	\$281,483.28	
SUMA DEL IMPORTE PARCIAL DE ESTA HOJA					\$2,324,387.82	
PROPOSICION QUE TIENE UN IMPORTE ACUMULADO					\$2,324,387.82	

CATALOGO DE CONCEPTOS Y CANTIDADES DE OBRAS PARA EXPRESION DE PRECIOS UNITARIOS Y MONTO TOTAL DE LA PROPOSICION

NO. DE CONCEPTO	DESCRIPCION DEL CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	IMPORTE
<u>BANQUETA Y GUARNICION</u>					
8	Concreto Hidráulico de f'c=250 Kg/Cm2 en banqueta, incluye - adquisición y acarreo de los materiales, elaboración, colocación, moldeo, obra falsa en caso de ser necesario, vibrado, curado y - descimbrado.	M3.	26.30	\$18,752.31	\$493,185.75
9	Concreto Hidráulico de f'c=250 Kg/Cm2 en guarnición, incluye - adquisición y acarreo de los materiales, elaboración, colocación, moldeo, obra falsa en caso de ser necesario, vibrado, curado y - descimbrado.	M3.	15.70	\$26,822.77	\$421,117.49
10	Tubo de acero galvanizado ced. 40, incluye adquisición, acarreo, habilitado y colocación de:				
	a) 1 1/2" de diámetro	KG.	25.20	\$279.45	\$7,042.14
	b) 2" de diámetro	KG.	54.00	\$257.17	\$13,887.18
	c) 2 1/2" de diámetro	KG.	810.00	\$257.78	\$208,801.80
	d) 3" de diámetro	KG.	1,695.00	\$259.47	\$439,801.65
11	Acero estructural A-36, incluye adquisición, acarreo, habilitado, y colocación.	KG	2,652.00	\$171.45	\$454,685.40
12	Pernos de 2.54 0 x 20 cm con tuercas, incluye adquisición, habilitado y colocación.	PZA	312.00	\$887.50	\$276,900.00
13	Cartón asfaltado de 2.54 cm de espesor, incluye adquisición, acarreo, habilitado y colocación.	Dm3	117.00	\$275.68	\$32,254.56
SUMA DEL IMPORTE PARCIAL DE ESTA HOJA					\$2,347,675.97
PROPOSICION QUE TIENE UN IMPORTE ACUMULADO					\$4,672,063.79

CATALOGO DE CONCEPTOS Y CANTIDADES DE OBRA PARA EXPRESION DE PRECIOS UNITARIOS Y MONTO TOTAL DE LA PROPOSICION

No. de CONCEPTO	DESCRIPCION DEL CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	IMPORTE
14	Sikaflex 1-A ó similar, incluye adquisición, habilitado y colocación.	Dm3	9.80	\$2,467.39	\$24,200.02
15	Acero de refuerzo, varilla de grado 42 (L.E.=4000 Kg/Cm2) incluye adquisición, acarreo, habilitado, armado y colocación.	KG	5,829.50	\$124.47	\$725,597.87
<u>SUPERESTRUCTURA</u>					
16	Concreto Hidráulico de f'c=320 Kg/Cm2 en guarnición, incluye adquisición y acarreo de los materiales, elaboración, colocación, moldes, obra falsa en caso de ser necesaria, vibrado, curado y descimbra.	M3.	854.80	\$51,146.01	\$43,719,609.35
17	Acero de refuerzo, varilla de grado 42 (L.E.=4000 Kg/Cm2) incluye adquisición, acarreo, habilitado, armado y colocación.	KG	74,513.20	\$158.40	\$11,802,870.88
18	Acero de presfuerzo cables 12T13 (L.R.=18,000 Kg/Cm2) incluye adquisición, acarreo, habilitado, armado y colocación.	KG	30,444.60	\$501.20	\$15,258,833.52
19	Anclajes vivos 12T13 (L.R.=18,000 Kg/Cm2) incluye adquisición, acarreo, habilitado, armado y colocación.	PZA.	236.00	\$35,565.42	\$8,393,439.12
SUMA DEL IMPORTE PARCIAL DE ESTA HOJA					\$79,924,570.76
PROPOSICION QUE TIENE UN IMPORTE ACUMULADO					\$84,596,634.55

OBRA: CONSTRUCCION DEL PUENTE "PIGUA II" EN VILLAHERMOSA, TABASCO.

CATALOGO DE CONCEPTOS Y CANTIDADES DE OBRA PARA EXPRESION DE PRECIOS UNITARIOS Y MONTO TOTAL DE LA PROPOSICION

NO. DE CONCEPTO	DESCRIPCION DEL CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	IMPORTE
20	Breves de plástico # 7.6 cm incluye adquisición, acarreo, habilitado y colocación.	PZA.	138.00	\$158.85	\$21,921.30
<u>JUNTA DE DILATACION DE CALZADA</u>					
21	Acero estructural A-36, incluye adquisición, acarreo, habilitado, y colocación.	KG	4,382.80	171.45	\$751,431.66
<u>APORTOS</u>					
22	Neopreno ASIM 2240, dureza Shore 60, incluye adquisición, acarreo, habilitado, y colocación.	Dm3	193.50	\$979.37	\$1,350,508.10
<u>SUBESTRUCTURA</u>					
23	Concreto Hidráulico de f'c=250 Kg/Lm2 incluye adquisición y acarreo de los materiales, elaboración, colocación, moldes, obra - falsa en caso de ser necesaria, vibrado, curado y descimbra en:				
SUMA DEL IMPORTE PARCIAL DE ESTA HOJA					\$2,123,860.46
PROPOSICION QUE TIENE UN IMPORTE ACUMULADO					\$86,720,495.01

CATALOGO DE CONCEPTOS Y CANTIDADES DE OBRA PARA EXPRESION DE PRECIOS UNITARIOS Y MONTO TOTAL DE LA PROPOSICION

NO. DE CONCEPTO	DESCRIPCION DEL CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	IMPORTE
	a) Caballetes	M3.	36.20	\$35,758.64	\$1,294,462.77
	b) Pilas	M3.	172.40	\$25,354.54	\$4,371,122.70
	c) Tapón superior de cilindros	M3.	136.00	\$23,444.94	\$3,188,511.84
24	Acero de refuerzo, varilla de grado 42 (L.E.=4000 Kg/Cm2) incluye adquisición, acarreo, habilitado, armado y colocación en:				
	a) Caballetes	KG.	6,206.60	\$125.41	\$778,369.71
	b) Pilas	M3.	24,295.40	\$145.64	\$3,538,382.06
	c) Tapón superior de cilindros	M3.	8,638.60	\$125.41	\$1,083,366.83
<u>CILINDROS</u>					
25	Concreto Hidráulico de f'c=250 Kg/Cm2 incluye adquisición y acarreo de los materiales, elaboración, colocación, moldes, obra - falsa en caso de ser necesario, vibrado, curado y descimbra en:	M3.	1,661.90	\$23,037.05	\$38,285,273.40
26	Concreto Hidráulico de f'c=200 Kg/Cm2 incluye adquisición y acarreo de los materiales, elaboración, colocación, moldes, obra - falsa en caso de ser necesario, vibrado, curado y descimbra en:	M3.	126.80	\$20,390.18	\$2,585,474.82
SUMA DEL IMPORTE PARCIAL DE ESTA HOJA					\$110,249,928.26
PROPOSICION QUE TIENE UN IMPORTE ACUMULADO					\$196,970,423.27

OBRA: CONSTRUCCION DEL PUENTE "PIGUA II" EN VILLANUEVA, TAMASO.

HOJA 6/6

CATALOGO DE CONCEPTOS Y CANTIDADES DE OBRA PARA EXPRESION DE PRECIOS UNITARIOS Y MONTO TOTAL DE LA PROPOSICION

No. DE CONCEPTO	DESCRIPCION DEL CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	IMPORTE
27	Acero de refuerzo, varilla de grado 42 (L.E.=4000 Kg/Cm2) incluye adquisición, acarreo, habilitado, armado y colocación en:	KG.	68,718.00	\$125.41	\$8,617,924.38
28	Acero estructural A-36 en cuchillos, incluye adquisición, acarreo, habilitado, y colocación.	KG.	5,738.00	\$238.67	\$1,369,488.46
29	Hincado de cilindros	M.	139.00	\$197,628.17	\$27,470,315.63
30	Excavaciones Previas	M3.	500.00	\$248.10	\$124,050.00
31	Rellenos	M3.	100.00	\$248.10	\$24,810.00

SUMA DEL IMPORTE PARCIAL DE ESTA HOJA \$75,213,176.94

PROPOSICION QUE TIENE UN IMPORTE ACUMULADO \$272,183,600.21

IV.2 PROGRAMA DE OBRA

PROGRAMA: Es el pronóstico de cómo deben efectuarse en el tiempo las diferentes partes que constituyen una obra de construcción; también puede decirse que es la exposición gráfica, que muestra en qué tiempo deben realizarse las actividades que conforman un proceso constructivo y la forma en que dependerán una de otra para llegar a integrar la duración de la obra.

La programación es una parte de la planeación, que consiste en calcular el tiempo necesario para la ejecución de una obra, integrando las duraciones parciales de las actividades en que se divide dicha obra, una vez que estas han sido encadenadas en la secuencia ordenada en que planeamos se deban realizar.

Los pasos que es necesario llevar a cabo para elaborar un programa, son los siguientes:

- a) Definir los procedimientos de construcción.
- b) Hacer una lista de actividades.
- c) Asignar recursos a cada actividad.
- d) Determinar la duración de cada actividad.
- e) Definir que actividades proceden a cada una de las enlistadas.
- f) Elaborar la red básica de actividades.
- g) Calcular la duración total de la obra.
- h) Representar el programa en forma gráfica.

Para la realización de un programa de obra, normalmente se toman en cuenta solamente los trabajos que corresponden a los conceptos

que forman la obra, es decir, los que están incluidos en el presupuesto, quedando fuera, por tanto, las actividades relativas a suministros, instalaciones, licencias, etc., dado que estas actividades se contemplan por lo regular implícitamente en cada uno de los conceptos.

Para realizar un programa de obra, es necesario elaborar previamente un análisis de la red de actividades o "ruta crítica", para lo cual debemos seguir los pasos y las consideraciones mencionadas anteriormente.

a) Definir los procedimientos de construcción: Antes de iniciar cualquier intento relacionado con la elaboración del programa, es necesario tener una idea clara de COMO vamos a ejecutar la obra, por lo cual el establecimiento de los procedimientos constructivos es factor imprescindible.

Normalmente, los procedimientos de construcción ya se han seleccionado previamente a esta etapa, pues al establecer el presupuesto se deben examinar las posibles alternativas de ejecución y elegir la más económica; inclusive, en muchos casos, los procedimientos para la ejecución, están definidos en los planos o especificaciones del proyecto.

b) Hacer una lista de actividades: En esta etapa, es muy conveniente contar con el presupuesto de la obra y al hacer la lista de actividades, hay que tratar de que esta siga aproximadamente el orden en que vamos a ejecutar los trabajos,

aunque no es imprescindible que estén totalmente ordenadas las actividades, ya que la secuencia definitiva y la interdependencia que guarde cada una de ellas, será motivo de un estudio detallado cuando se elabore la red básica de actividades.

c) Asignar recursos a cada actividad: En este primer intento de la elaboración del programa, es factor muy importante desde luego la experiencia que tenga la persona que está haciendo el programa, en cuanto a ejecución de obras, puesto que muchos de los recursos aunque en teoría no tienen limitación, guardan cierta relación con la magnitud de la obra y la forma como se encadenan las actividades, por lo tanto, es esta la función más difícil para realizar los programas y además, es el factor clave para determinar la duración total de los mismos.

d) Determinar la duración de cada actividad: Una vez hechos los pasos anteriores, para la determinación de la duración de cada actividad, el proceso es simplemente aritmético, ya que consiste en dividir la cantidad entre el producto de los recursos por el rendimiento que se establece en los precios unitarios de nuestro presupuesto.

En el caso de que no exista presupuesto en el momento de efectuar un programa, estos rendimientos deben ser los que usualmente emplearíamos para el cálculo de los precios unitarios y que son obviamente los rendimientos promedio que en forma de estadística se han obtenido por experiencia en las obras.

e) Definir qué actividades proceden a cada una de las enlistadas: De las actividades enlistadas en el punto b), que son las mismas que por lo regular aparecen o se contemplan en el presupuesto, se ordenan, para lo cual en algunos casos es conveniente auxiliarse de una tabla de procedencias, en la cual se indican las interdependencias entre actividades.

f) Elaborar la red básica de actividades: Para ello se procede a ir dibujando todas las actividades que se consideran, respetando las condiciones de dependencia que ya se conocen, previamente a este punto.

g) Calcular la duración total de la obra: Hasta este punto estamos en condiciones por fin, de determinar el tiempo de duración de la obra, el cual se obtendrá de la red básica de actividades, con la modalidad del método de la ruta crítica.

h) Representar el programa en forma gráfica: Para elaborar este programa se requiere aparte de las duraciones, la secuencia de las actividades determinada por el procedimiento constructivo que previamente haya sido fijado.

Para determinar la ubicación de cada una de las barras en el programa, se requiere tomar en cuenta los siguientes aspectos.

- 1.- Procedimiento Constructivo.
- 2.- Utilización de los Recursos.
- 3.- Posibilidad de traslape de actividades (parcial o total).
- 4.- Actividades que deben ser terminadas totalmente antes de

iniciarse la inmediata siguiente.

Después de tener conocimiento de lo que implica y significa cada uno de los puntos que hay que seguir para llegar a la realización de un programa de barras, procedemos a la elaboración de la red de actividades con la modalidad de la ruta crítica, para poder determinar una representación gráfica más real de la obra en cuestión.

En el siguiente punto de éste capítulo, se dará un breve recordatorio de la metodología a seguir para obtener la ruta crítica antes mencionada.

IV.3 RUTA CRITICA

El método de la ruta crítica tiene como elementos básicos, un diagrama de actividades, una ruta crítica y un análisis de los tiempos de todas las actividades.

Actividades: La actividad, es la ejecución física de una parte de un proceso que consume tiempo y recursos. Se representa por una flecha.

Diagramas: El diagrama de las actividades, es un modelo gráfico que nos representa la interdependencia de las mismas, es decir, la forma como se suceden unas a otras.

Eventos: El evento es un momento dentro del proceso constructivo que no consume tiempo ni recursos. Representa el punto en el tiempo cuando todos los trabajos que en él terminan han sido ejecutados y cuando pueden iniciarse todos los trabajos subsecuentes que ahí principian.

Los puntos de unión o nudos, los llamaremos eventos; son los puntos en el tiempo cuando terminamos alguna o algunas actividades e iniciamos otras. Si numeramos estos puntos de unión o eventos, podemos describir las actividades por medio de los números entre los cuales están situadas.

Actividad Ficticia: Es aquella actividad que no consume tiempo ni recursos y se representa por una flecha punteada y se usan para:

- a) Mantener o corregir la lógica del diagrama.
- b) Conservar unicamente la designación numerica de los eventos en el inicio y la terminación de cada actividad.

INICIACION MAS PROXIMA

Una vez hecho el diagrama de actividades y anotados los números correspondientes a cada evento, así como a las duraciones de las actividades, deberemos de proceder a determinar las iniciaciones más próximas de cada actividad.

La iniciación más próxima, es el menor tiempo en que puede ser iniciada una actividad, tomando en cuenta las dependencias que existen en el diagrama. Para la primera actividad de cualquier diagrama, la iniciación más próxima es el día cero, que corresponde a la fecha de calendario en que se planea iniciar el proceso que se está programando. La iniciación más próxima de las actividades que dependen de la primera, es igual a la duración de la primera actividad. En general, decimos que la iniciación más próxima de una actividad es igual a la mayor de las terminaciones más próximas de las actividades de las cuales dependen (precedentes).

De lo anterior, se determina que:

$$T_p = I_p + d \quad (1)$$

donde:

T_p = Terminación más próxima.

I_p = Iniciación más próxima.

d = duración de la actividad.

Cuando a un evento concurren varias actividades el I_p que debemos tomar es el mayor valor.

El manejo de las actividades ficticias, no presenta ningún problema especial en la determinación de las I_p o la duración de la red, ya que se tratan exactamente igual que las actividades reales, sólo que con duración cero.

INICIACION MAS REMOTA

La iniciación más remota, es el tiempo máximo en que puede empezar una actividad sin alargar la duración total del diagrama.

La terminación más próxima de la última actividad de un diagrama, es igual a la duración total de la red, es decir del proceso. Por lo tanto, la terminación más remota de la última actividad, debe ser igual a la terminación más próxima, pues de otra manera se modificaría la duración total de la red. En general, la iniciación más remota de cualquier actividad, es igual a su terminación más remota menos su duración. Por tanto, debemos iniciar el análisis de las iniciaciones más remotas a partir de la última actividad del diagrama, ya que es para la única que conocemos la terminación más remota al igualarla a la terminación más próxima.

También es necesario aclarar que en el caso de un evento del cual

se inicien varias actividades, la iniciación más remota que registrará será la menor de las correspondientes a dicha actividad.

Para terminar con lo correspondiente a las iniciaciones más remotas, es necesario comentar que la I_r de un evento indica la I_r de algunas de las actividades que se indican en el evento, pero no de todas, ya que como se indicó anteriormente se elige la menor de las I_r que empiezan desde ese evento en particular.

HOLGURA TOTAL Y HOLGURA LIBRE

Al sumar las duraciones de todas las actividades encontraremos la duración total del proyecto y veremos qué actividades pueden retrasarse sin que se afecte la duración total del proyecto y cuáles son las actividades críticas. Las actividades que al retrasarse no afectan a la duración total del proyecto, se dice que tienen holgura, en cambio las actividades críticas no tienen holgura y en consecuencia no deben retrasarse pues afectaría la culminación de la obra.

HOLGURA TOTAL

La holgura total de una actividad la definiremos como la posibilidad de variación que existe entre su iniciación más próxima y más remota, que se expresa así:

$$H_t = I_r - I_p \quad (2)$$

y también se tiene que:

$$H_L = T_r - T_p \quad (3)$$

ahora sustituyendo (1) en (3) se determina la siguiente expresión:

$$H_L = T_r - I_p - d \quad (4)$$

La holgura total es el parámetro que nos define si una actividad es o no crítica.

En efecto, la ruta crítica es la cadena consecutiva de actividades que no pueden tener diferencia entre sus iniciaciones más próximas y más remotas, es decir, que su holgura total es cero.

En sí la holgura total es el tiempo que puede desplazarse la iniciación de una actividad o alargarse su duración sin que se altere la duración del proyecto.

HOLGURA LIBRE

Definiremos ahora la holgura libre de una actividad al margen de tiempo disponible con respecto a la duración de la actividad, cuando las actividades se inician tan pronto como es posible, es decir:

$$H_L = T_p - I_p - d \quad (5)$$

En sí la holgura libre, es el tiempo que puede desplazarse una actividad sin que se modifiquen las fechas de inicio de las

actividades que le siguen en cadena.

En base al breve recordatorio presentado anteriormente sobre lo que es y cómo se realiza la ruta crítica de una obra, a continuación se muestra en la fig. 8 y en la tabla 2, la ruta crítica y la tabla de holguras respectivamente, de la ejecución de la construcción del puente "LA FIGUA II"; y finalmente con ayuda de estos elementos, se podrá llegar a la realización del programa de obra, indicado en la tabla 3.

Ya obtenido el programa de obra en base a las herramientas mencionadas anteriormente y encontrándose la obra en proceso de ejecución, si al comparar dicho programa con el avance real de nuestra obra, existen diferencias en tiempo, será necesario recurrir a los Mecanismos de Control.

MECANISMOS DE CONTROL

Son las herramientas que nos permitirán controlar las desviaciones en tiempo y costo que se presentan durante el desarrollo de la obra, en relación a lo establecido en el programa y presupuesto respectivamente, para poder tomar las medidas correctivas adecuadas.

Para la implementación de los mecanismos de control es de suma importancia establecer:

- a) La periodicidad del control.
- b) El tipo de informe o reporte.
- c) Que se obtengan conclusiones cuantitativas.

TABLA DE HULURAS

HOJA: 1 / 2

ACTIVIDAD	DURACION	I N I C I A C I O N E S		T E R M I N A C I O N E S		HULGURA TOTAL	HULGURA LIBRE	SECUENCIA RUTA CRITICA
		RENDA	PROXIMA	RENDA	PROXIMA			
i - j	d	Ir	Ip	Tr	Tp	Ht	Hl	
		(Tr - d)	Diagrama Mayor	Diagrama Menor	(Tp + d)	Tabla	Tabla	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)=(5)-(4)-(2)	(8)=(6)-(4)-(2)	
0-1	5	0	0	35	5	30	0	
0-2	35	0	0	35	35	0	0	X
1-2	0	35	5	35	35	30	30	
2-3	20	35	35	55	55	0	0	X
2-4	0	35	35	45	35	10	0	
3-5	0	55	55	60	55	5	0	
3-6	0	55	55	55	55	0	0	X
4-7	85	45	35	130	130	10	10	
5-7	70	60	55	130	130	5	5	
6-7	75	55	55	130	130	0	0	X
7-8	10	130	130	140	140	0	0	X
8-9	0	140	140	143	140	3	0	
8-10	15	140	140	155	155	0	0	X
9-10	12	143	140	155	155	3	3	
10-11	30	155	155	185	185	0	0	X
10-12	25	155	155	185	180	5	0	
10-13	20	155	155	185	175	10	0	
10-14	25	155	155	185	180	5	0	
11-15	0	185	185	185	185	0	0	X
12-15	0	185	180	185	185	5	5	
13-15	0	185	175	185	185	10	10	
14-15	0	185	180	185	185	5	5	
15-16	10	185	185	195	195	0	0	X
15-17	0	185	185	192	185	7	0	
15-18	0	185	185	192	185	7	0	
15-19	0	185	185	192	185	7	0	
16-20	0	195	195	232	195	37	0	
16-21	0	195	195	392	195	197	0	
16-22	0	195	195	195	195	0	0	X
16-23	0	195	195	227	195	32	0	
16-24	0	195	195	407	195	212	0	
16-25	0	195	195	247	195	52	0	
16-26	0	195	195	247	195	52	0	
16-27	0	195	195	257	195	62	0	
16-28	0	195	195	257	195	62	0	
16-29	0	195	195	257	195	62	0	
16-30	0	195	195	257	195	62	0	

TABLA DE HOLERAS

HOJA 2 / 2

ACTIVIDAD	DURACION	I N I C I A C I O N E S		T E R M I N A C I O N E S		HOLERAS TOTAL	HOLERAS LIBRE	SEGURANCIA RUTA CRITICA
		REMOTA I r	PROXIMA I p	REMOTA I r	PROXIMA I p			
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)=(5)-(4)-(2)	(8)=(6)-(4)-(2)	
16 - 31	0	195	195	242	195	47	0	
16 - 32	0	195	195	242	195	47	0	
16 - 33	0	195	195	407	195	212	0	
16 - 34	0	195	195	277	195	82	0	
16 - 35	0	195	195	407	195	212	0	
16 - 36	0	195	195	292	195	97	0	
16 - 37	0	195	195	292	195	97	0	
16 - 38	0	195	195	407	195	212	0	
16 - 39	0	195	195	292	195	97	0	
16 - 40	0	195	195	292	195	97	0	
16 - 41	0	195	195	292	195	97	0	
17 - 42	230	192	185	422	422	7	7	
18 - 42	230	192	185	422	422	7	7	
19 - 42	230	192	185	422	422	7	7	
20 - 42	190	232	195	422	422	37	37	
21 - 42	30	392	195	422	422	197	197	
22 - 42	227	195	195	422	422	0	0	x
23 - 42	195	227	195	422	422	32	32	
24 - 42	15	407	195	422	422	212	212	
25 - 42	175	247	195	422	422	52	52	
26 - 42	175	247	195	422	422	52	52	
27 - 42	165	257	195	422	422	62	62	
28 - 42	165	257	195	422	422	62	62	
29 - 42	165	257	195	422	422	62	62	
30 - 42	165	257	195	422	422	62	62	
31 - 42	180	242	195	422	422	47	47	
32 - 42	180	242	195	422	422	47	47	
33 - 42	15	407	195	422	422	212	212	
34 - 42	145	277	195	422	422	82	82	
35 - 42	15	407	195	422	422	212	212	
36 - 42	130	292	195	422	422	97	97	
37 - 42	130	292	195	422	422	97	97	
38 - 42	15	407	195	422	422	212	212	
39 - 42	130	292	195	422	422	97	97	
40 - 42	130	292	195	422	422	97	97	
41 - 42	130	292	195	422	422	97	97	

V.- PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

V.1 GENERALIDADES

Un puente construido en voladizo es una obra colada en forma de ménsula por elementos sucesivos llamados dovelas, elementos que se postensan uno a uno en el transcurso de la construcción. El colado se efectúa en moldes suspendidos de un andamiaje móvil constituido por una armadura metálica que se sujeta y apoya sobre la parte ya colada y postensada. Cuando una dovela se ha colado y postensado, se avanza la armadura rodando sobre rieles para colar el elemento siguiente. El presfuerzo de una dovela ya colada se efectúa antes del avance del molde móvil, por medio de cables insertados en ductos colocados en el interior del concreto. La técnica de insertado es simple y este método permite evitar el empleo sistemático de piezas de acoplamiento para enlazar dos dovelas sucesivas (ver fig. 9).

Los puentes en voladizo deben preverse cuando las condiciones de establecimiento de una obra falsa son sumamente difíciles y por tanto antieconómicas, o bien, cuando los costos de la cimentación son muy altos.

En el caso de puentes en doble voladizo, existe una limitación de claros a utilizar con esta técnica, que queda definida por el aspecto económico, sin embargo, se puede señalar que actualmente un puente en voladizo para carretera debe preverse para los claros comprendidos entre 50 a 220 m, siendo su construcción sencilla

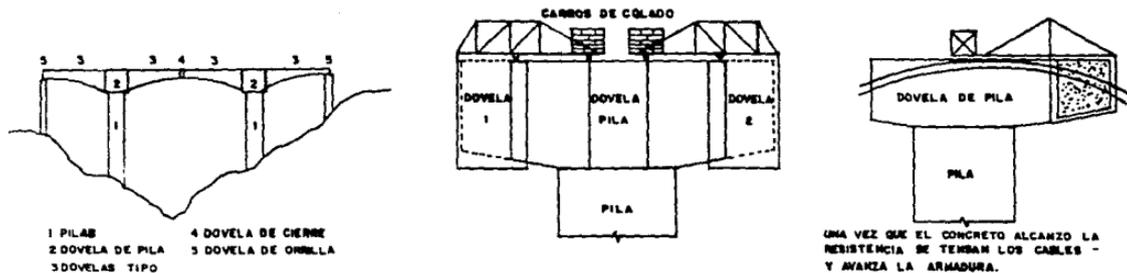


FIG. 9 CONSTRUCCION EN DOBLE VOLADIZO

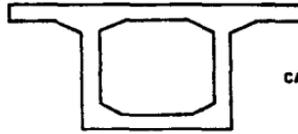
cuando el claro no pasa de los 130 m.

Para puentes de ferrocarril, se pueden fijar los límites entre 35 y 120 m, con 85 m como claro medio.

Un puente en doble voladizo siempre es un puente formado por vigas cajón, pues esta sección transversal es la más favorable por la resistencia a la torsión que presenta. Las vigas cajón varían según el ancho del puente, siendo normalmente el entreje de las columnas de 5 a 6 m. Cuando el ancho del puente no sobrepasa los 12 m, se utiliza siempre un cajón simple de dos almas, cuya losa superior tiene dos volados laterales con un claro más o menos igual a la mitad del ancho del cajón; siendo acartelada la losa en las almas (ver fig. 10).

Para puentes hasta de 20 m de ancho, se utilizan dos cajones simples con una losa superior común y volados laterales, tal y como se muestra en la fig. 10. Los cajones dobles (de 3 almas), casi no se emplean, ya que su cimbrado y colado son complejos.

La altura de los cajones es variable siguiendo una ley determinada para cada puente, en función de las cargas que le son aplicadas. En ciertos casos se puede estar obligado a proyectar obras de altura constante para llevar a cabo su construcción, pero estas obras para puentes en carreteras son menos económicos y el claro queda limitado a 80 m como máximo aproximadamente; en la fig. 11 se muestra la variación de la sección transversal.



CAJON SIMPLE

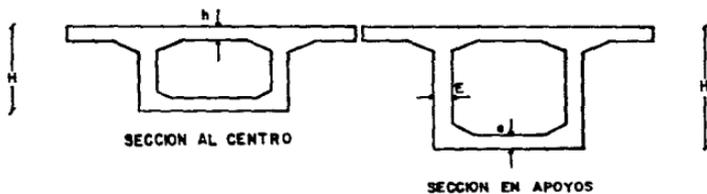


DOS CAJONES
SIMPLES



CAJON DOBLE
TRES ALMAS

FIG. 10 SECCION TRANSVERSAL



H = VARIA PARABOLICAMENTE

h = CONSTANTE (FUNCION DE CARGAS RODANTES)

E = CONSTANTE (FUNCION DE BUEN COLADO Y ANCLAJE)

ϕ = VARIA LINEAL O PARABOLICAMENTE

FIG. II VARIACION DE LA SECCION TRANSVERSAL

Con objeto de exponer en forma más explícita los aspectos técnicos del sistema de construcción de puentes en doble voladizo y señalar las principales ventajas así como los problemas que presentan su concepción y ejecución, se hace referencia en este trabajo, a una obra que constituye un ejemplo de la aplicación de esta técnica.

La obra en cuestión es el puente "LA FIGUA II", cuya construcción fue realizada por la constructora Ingeniería y Puertos, S.A de C.V., en la Cd. de Villahermosa, Tabasco.

Debido a la importancia de cada una de las etapas constructivas a la que estuvo sujeta la construcción del puente "LA FIGUA II", se describirán por separado cada una de ellas y en orden de ejecución; dichas etapas serán: INFRAESTRUCTURA (hincado de cilindros), SUBESTRUCTURA (construcción de pilas y caballetes) y SUPERESTRUCTURA (dovelas tipo cajón en doble voladizo).

V.2 INFRAESTRUCTURA (HINCADO DE CILINDROS)

La Infraestructura (construcción e hincado de cilindros) de puentes, por lo regular tiene la clasificación que se muestra en la tabla 4.

Pero para nuestro caso, solamente nos abocaremos a la infraestructura llevada a cabo, mediante el procedimiento de construcción en cauces poco profundos, sistema empleado en la ejecución del puente "LA FIGUA II".

Este sistema de cimentación, en el que se emplean cilindros de concreto reforzado de pared gruesa, está basado en el antiguo sistema denominado "POZO INDIO", procedimiento que fue ideado para la construcción de pozos de agua y aún se continúa empleando en la actualidad, el cual consiste básicamente en la construcción de un elemento de forma circular en planta, con paredes perimetrales de concreto reforzado y hueco al centro, lo que permite mediante el uso de un equipo adecuado la excavación y extracción del material del suelo. Esta excavación provoca que el cilindro se vaya hundiendo en el terreno debido a su peso propio y a la falta de apoyo en su base; al haber llegado a la elevación de desplante del cilindro, se suspende la excavación y se cuela en la parte inferior un tapón de concreto simple como base de cimentación. Y por último se cuela en la parte superior un tapón de concreto reforzado que sella el hueco y sobre el cual se construirá la pila, caballete o estribo del puente.

CLASIFICACION
 INFRAESTRUCTURA DE
 PUENTES, A BASE DE
 CILINDROS

- PROCEDIMIENTO DE
 CONSTRUCCION EN
 CAUCES POCO
 PROFUNDOS

- CON MOLDES
 RECUPERABLES

- CILINDROS COLADOS
 EN SECO

- CILINDROS COLADOS
 BAJO AGUA

- CON MOLDES
 RECUPERABLE

- CILINDROS SUSPENDIDOS
 DE ARMADURAS COLOCADAS
 SOBRE CHALANES

- CILINDROS COLADOS
 SOBRE ISLETAS

- PROCEDIMIENTO DE
 CONSTRUCCION EN
 CAUCES PROFUNDOS

- CON MOLDES
 PERDIDOS

- CON MOLDES ARMADOS
 FUERA DEL CAUCE

- CON MOLDES ARMADOS
 EN EL CAUCE

Los elementos que comúnmente forman un cilindro de cimentación son:

a).- Cuchilla cortadora de acero de $\pm 1/2"$ de espesor. Elemento de ataque para cortar el material en que se va hincando y que se localiza en la parte inferior del cilindro, de aproximadamente 0.30 m de altura y sección tronco-cónica para formar la transición con la pared del cilindro.

b).- Pared de concreto reforzado con resistencia del orden de 250 Kg/cm². Forma el cuerpo del cilindro y su función esencial además de constituir el ademe necesario para permitir el procedimiento de hincado, es el de transmitir al tapón inferior las cargas que recibe. Su espesor normal varía de 0.80 m a 1.00 m y queda fijado más que por la resistencia estructural que requiere, por la necesidad de dar peso suficiente para el hincado y capacidad para resistir los golpes del equipo durante dicho proceso. Los diámetros más utilizados en la construcción de cilindros, son de 4.5, 6.00 y 7.00 m para permitir la operación del equipo de hincado.

c).- Tapón inferior de concreto simple, con resistencia mínima de 200 kg/cm². Generalmente se cuela bajo agua y debido a su gran espesor y corto claro no requiere refuerzo. Su función es transmitir las cargas al terreno y evitar la penetración del cilindro, su espesor normal varía de 1 a 3 m y abarca desde el nivel inferior de la cuchilla cortadora hasta un poco más arriba de donde termina la sección tronco-cónica.

d).- Tapón superior de concreto reforzado, con resistencia del orden de 250 kg/cm^2 . Su finalidad, es transmitir a las paredes del cilindro la carga de los elementos que sobre él apoyan. Sella el cilindro en su parte superior y su espesor normal varía de 1 a 3 m, dependiendo esto de las descargas de la subestructura.

El puente "LA FIGUA II", se desplantó sobre cuatro cilindros huecos de 6.00 y 5.0 m de diámetro, con paredes de concreto y espesores de 1.00 y 0.80 m respectivamente (ver Plano General 1).

Según la planeación de la obra, que estaba sujeta a la fecha de terminación, o sea 422 días calendario de duración, fue necesario utilizar dos equipos de trabajo, uno en cada margen del río, esto es, dos grúas LINK-BELT LS-108, atacando cada uno de estos equipos un par de cilindros simultáneamente.

La descripción del procedimiento de ejecución para esta etapa en cuestión se enuncia a continuación.

Inicialmente fue necesario rellenar con material cementante y proteger con roca la zona donde se desplantaron los dos cilindros, que iban localizados dentro del lecho del río y realizar una excavación a cielo abierto en los elementos exteriores; ya que por especificaciones se indica que si en el sitio de hincado se tiene un nivel de aguas mínimas permanentes, se construirá primeramente una "isleta" o "península" que sobresalga 20 cms de dicho nivel con superficie suficiente para las maniobras de construcción del extremo inferior del cilindro; y

por otro lado, si el nivel del terreno es superior al de aguas freáticas o mínimas, se realiza una excavación a cielo abierto y antes de iniciar el hincado del cilindro, se hará un relleno con el sobrante de la excavación, tomando la precaución de que se haga en forma simétrica y por capas horizontales de espesor no mayor de 30 cms, compactadas al 90% de su peso volumétrico, hasta restablecer el nivel de terreno. Lo anterior se muestra en el detalle caso A y caso B del plano 2.

Una vez terminado el terraplén o la excavación, se nivela su superficie formando una plataforma de trabajo y se toman las cotas de terreno natural sobre esta plataforma, esto para llevar un control de la longitud de hincado del cilindro y saber en qué momento se llega a la cota de desplante de dicho elemento marcada en proyecto.

Sobre estas plataformas de trabajo se arman las cuchillas cortadoras de acero estructural, las cuales constituyen el borde de ataque y se coloca el acero de refuerzo y los moldes para el colado de la primera sección tronco-cónica, que forma la transición entre la cuchilla y la pared; ya colocada y sujeta la cimbra de madera o acero, que moldea las superficies interior y exterior del cilindro, se procede a su colado.

Dicho colado se realiza con una bacha (bote para concreto) y con la grúa LS-100; posteriormente al fraguado del concreto será utilizada esta misma grúa para relizar la excavación del material dentro del cilindro.

Fue necesario esperar mínimo 24 hrs, después de haber realizado el colado para iniciar el descimbrado de la sección en cuestión y de cada una de ellas, de cada cilindro.

Tanto el cimbrado del primer colado, como el de los subsecuentes de la infraestructura, fueron realizados con moldes de madera con una altura de 3.0 m aproximadamente.

Ya endurecido el concreto y habiendo retirado la cimbra, inmediatamente después se procede a realizar el dragado o extracción del material del interior de los cilindros, generalmente mediante el uso de un cucharón de almeja accionado por una grúa como ya se indicó anteriormente, lo que provoca el hundimiento o hincado del elemento (Ver fig. 12).

Estos cilindros se hunden por su peso propio y por la falta de apoyo; esto se deduce de que al extraer el material del interior del tramo del cilindro ya colado, se le quita la sustentación a dicho elemento, el cual empezará a bajar por peso propio rompiendo las fuerzas de fricción existentes en el subsuelo; para esto se deberá tener cuidado en que la profundidad excavada sea igual a la altura del elemento colado, para evitar que se pierda el acero de traslape; o sea, que cuando el borde superior de la sección colada se encuentre a una altura conveniente con relación al nivel del terreno natural, de tal manera que facilite la colocación de los moldes y el acero de refuerzo para el colado de la siguiente sección, se suspende la excavación y se procede a realizar las actividades de armado, cimbrado y colado. En esta misma forma

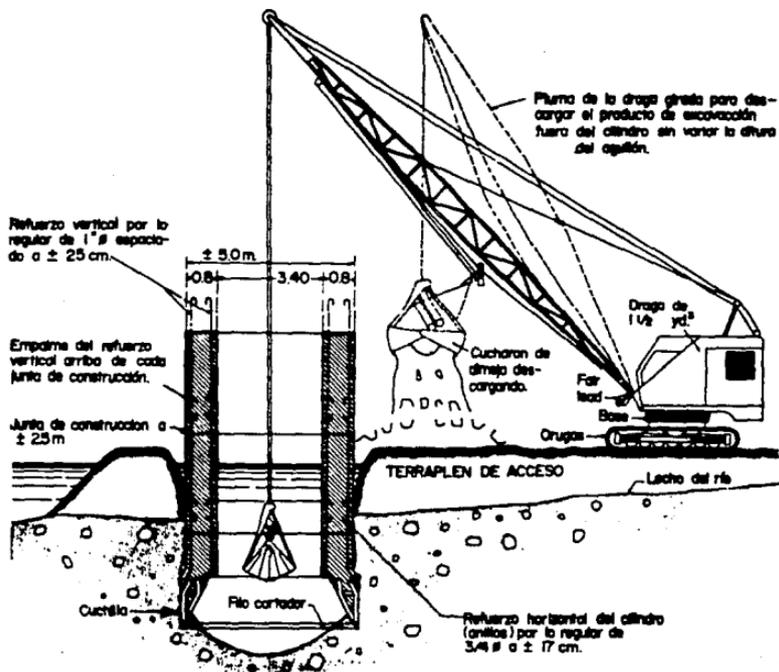


FIG. 12 ASPECTO GENERAL DE LA EXCAVACION E HINCADO DE CILINDROS

descrita, se repite el ciclo las veces que sea necesario hasta lograr que el cilindro llegue a la profundidad prevista para su desplante total, de acuerdo a las condiciones de proyecto (ver figs.13 y 14).

Dicho hincado, fue realizado simultáneamente en ambos cilindros de cada margen, ya que mientras que en un cilindro se realizaban los trabajos de armado cimbrado y colado, en el otro se ejecutaba la actividad de excavación o dragado; y así fue para cada uno de los colados de cada una de las secciones que integraron la totalidad de cada cilindro, hasta llegar a la cota de desplante definitiva.

Como se muestra en la fig. 15, la parte inferior del primer tramo de los cilindros presenta una sección troncocónica en su interior, que como ya se indicó anteriormente, servirá para realizar la transición entre la cuchilla y las paredes del cilindro; en sí, servirá para alojar posteriormente de haber terminado el hincado, una losa denominada tapón inferior, la cual no requiere refuerzo debido a su gran peralte y poco claro.

Como regularmente hay agua en el interior de los cilindros aún en cauces aparentemente secos, por la presencia de corrientes subterráneas, normalmente se precisa colar dicha losa bajo agua, esta losa o tapón nos sirve como ya se indicó anteriormente para evitar las filtraciones y lo más importante para distribuir la carga total del puente en un área mayor y por lo tanto para reducir los esfuerzos en el elemento en cuestión y así evitar también mayores hundimientos.

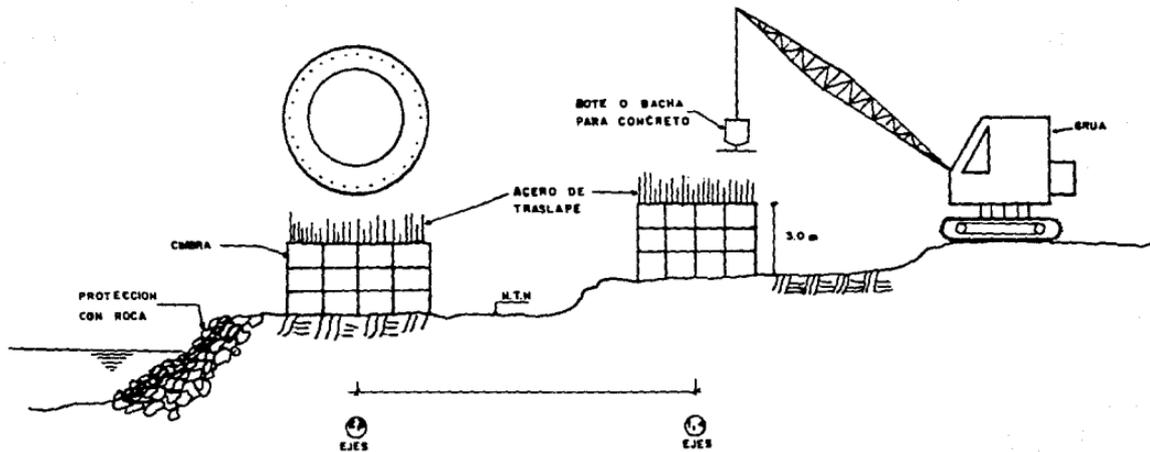


FIG. 13 COLADO DE CILINDROS

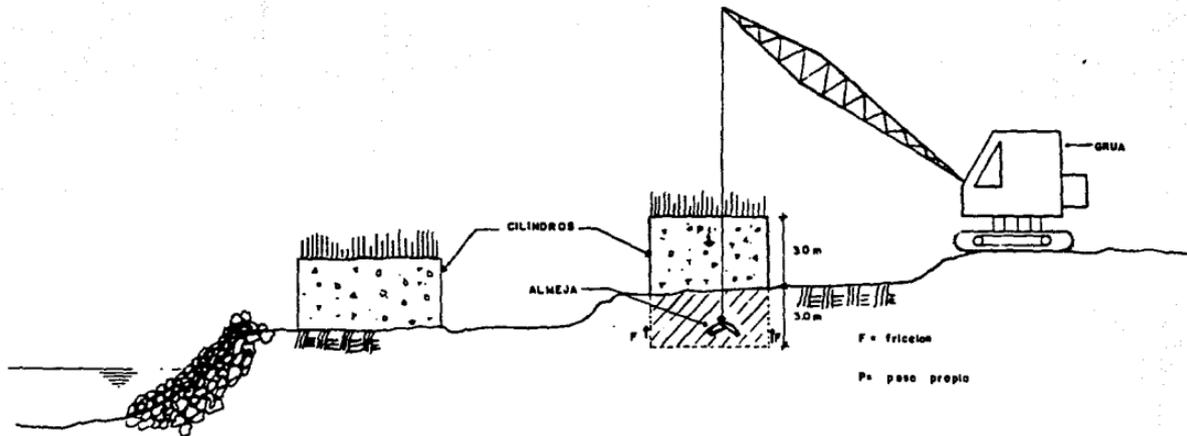


FIG. 14 HINCADO DE CILINDROS

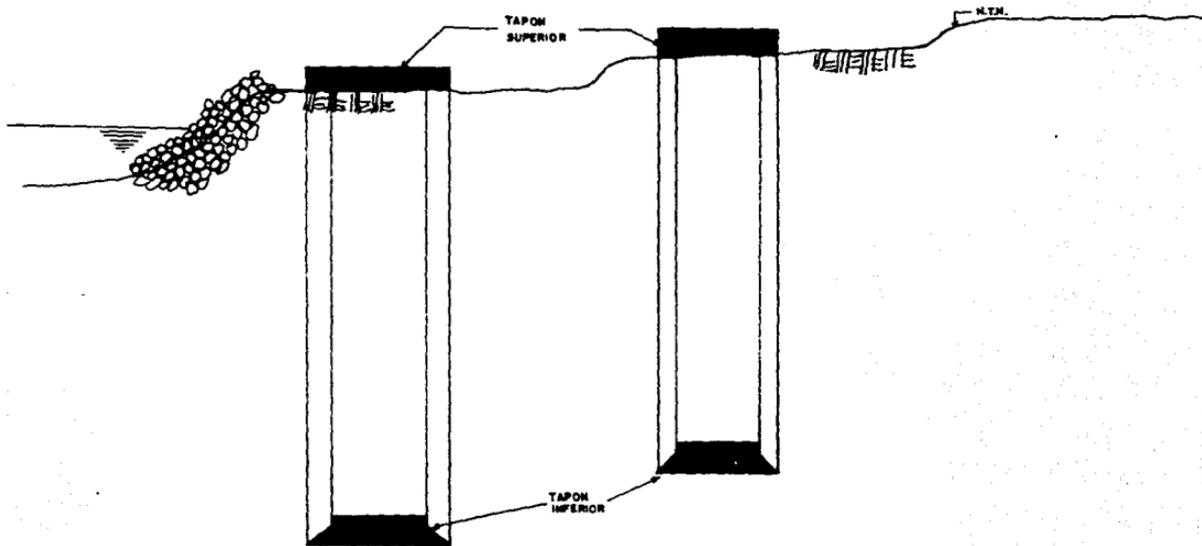


FIG. 15 CONCLUSION DE HINCADO DE CILINDROS

Para esta delicada operación se aplica el sistema de colado por "tubo tremie"; dicho sistema consiste en un colado con tubo de acero de 10 a 12" de diámetro, con una tolva en la parte superior para recibir la mezcla de concreto. A este tubo se le coloca por lo regular una cámara de balón en la parte inferior como tapón, para evitar el paso del agua y que esta contamine al concreto, pero cuando el concreto se vacía en la tolva y empieza a correr por la tubería, el tapón de hule colocado es botado dejando pasar la mezcla de dicho concreto, la cual empezará a desplazar el agua hacia arriba del cilindro, contaminándose una pequeña cantidad de este concreto colado.

Posteriormente, cuando por sondeos y control de revolturas se deduce que el nivel de concreto ha llegado al borde superior del tapón, se suspende el colado; pero por lo regular el nivel de este concreto se deja arriba del borde del tapón inferior, en un espesor tal que corresponda al concreto contaminado con el agua y por consiguiente defectuoso.

Finalmente, sobre el borde superior del cuerpo del cilindro, se cuela y apoya una losa superior de concreto reforzado, en la cual se desplantará el apoyo por construir, dejando las preparaciones necesarias, como podría ser el acero de refuerzo, que servirá de anclaje para la continuación del apoyo, que para este caso será el de las pilas y de los caballetes.

Para el colado del tapón superior, por lo regular se utiliza una obra falsa y una cimbra de contacto perdida.

Pero antes de realizar la última etapa del hincado, que es el colado de este tapón superior, se tuvo que abatir el nivel freático dentro del cilindro para dejar vacío éste, para evitar que el agua dañara a la estructura. Y así se concluye esta primera etapa, tal y como se muestra en la Fig. No. 15, dando paso a la construcción de la subestructura (construcción de pilas y caballetes).

Las especificaciones para la construcción de cilindros y cajones de cimentación, se encuentran contenidas en el capítulo 20 de la parte tercera de las Especificaciones Generales de Construcción de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, que comprende de la página 199 a 209 de la primera edición del año de 1981.

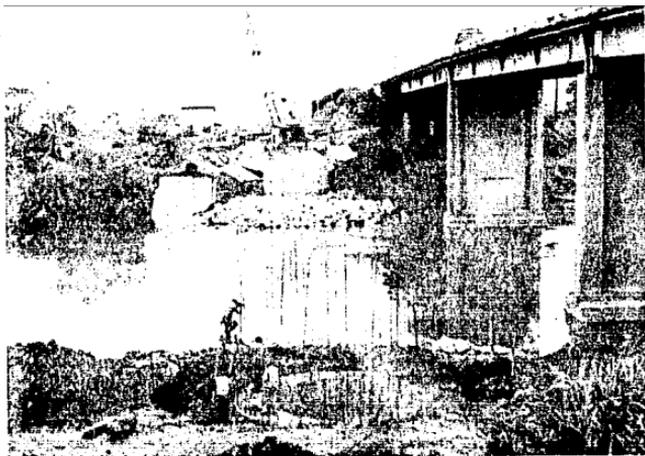
Las tolerancias permitidas para la construcción e hincado de cilindros, se indican en el inciso 20-4.6 y se transcriben a continuación:

a).- El espesor de los muros no diferirá en más de $0.05 (t) + 5$ mm y no será menor de $0.02 (t) + 4$ mm, siendo (t) el espesor del proyecto.

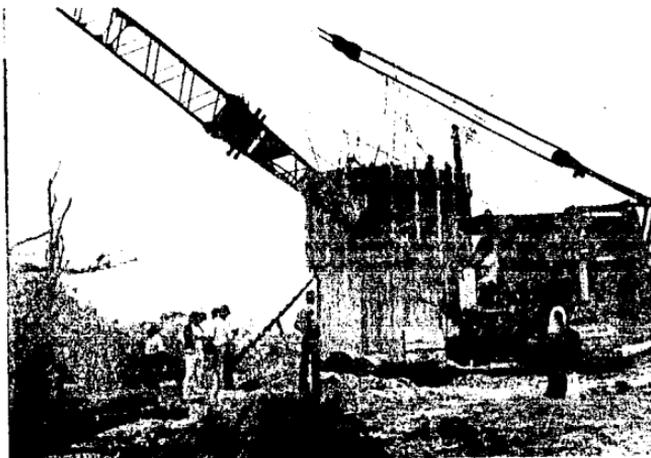
b).- El diámetro interior de los cilindros no excederá al de proyecto en $0.01 (d)$ y no será menor de $0.005 (d)$, siendo (d) el diámetro inferior.

c).- El desplome, con relación a la posición de proyecto no excederá en $0.01 (h)$, siendo (h) la altura total del cilindro.

d).- La posición de los ejes de la sección del tramo superior con relación a los del trazo, no excederá en $0.01 (h) + 15 \text{ mm}$, siendo (h) la altura total del cilindro.



PEDRAPLEN DE PROTECCION EN PLATAFORMA DE
DESPLANTE DE CILINDROS.

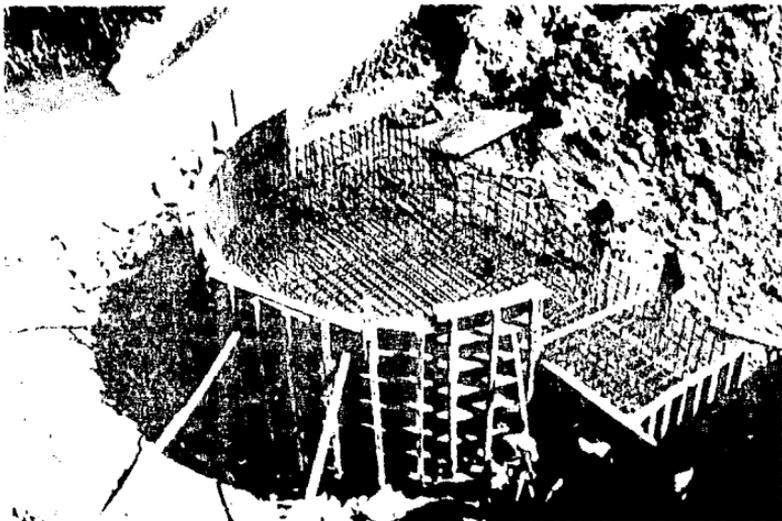


SECCION DE CILINDRO CIMBRADA Y COLADA.

FALLA DE ORIGEN



DESCIMBRADO DE UNA SECCION DE CILINDRO.



ARMADO Y CIMBRADO DEL TAPON SUPERIOR.

V.3 SUBESTRUCTURA (PILAS Y CABALLETES)

Esta etapa se refiere a la construcción de dos pilas centrales (ejes 2 y 3) y dos caballetes exteriores (ejes 1 y 4), dichos elementos parten del tapón superior del cilindro hasta la superestructura, tal y como se muestra en el Plano General No. 1.

En la fig. 16 se muestra la sección de las pilas, la cual está formada por un cajón de 2.5 m x 7.7 m con tajamares en los lados extremos o de ataque a la corriente, con paredes de 30 cms de espesor y altura de 13.688 m sobre el nivel del tapón superior del cilindro.

La sección de los caballetes se muestra en el plano de construcción correspondiente, dichos caballetes constan de dos columnas con sección de 0.60 m x 0.80 m y altura de 2.05 m sobre el tapón superior de los cilindros; un cabezal de 0.60 m x 1.20 m de sección y longitud de 8.75 m; un diafragma de respaldo y además de dos aleros de sección trapecial con espesores de 25 cms, que servirán para contener los terraplenes.

Para la construcción de esta fase, refiriéndose tanto a las pilas como a los caballetes, no presenta mayores problemas, ya que la cimbra de contacto y la obra falsa son del tipo convencional, la cual se apoya sobre los tapones superiores de los cilindros.

Para la construcción de las pilas, se debe tener cuidado en situar las ventas del pretensado, según como se marque en planos, además

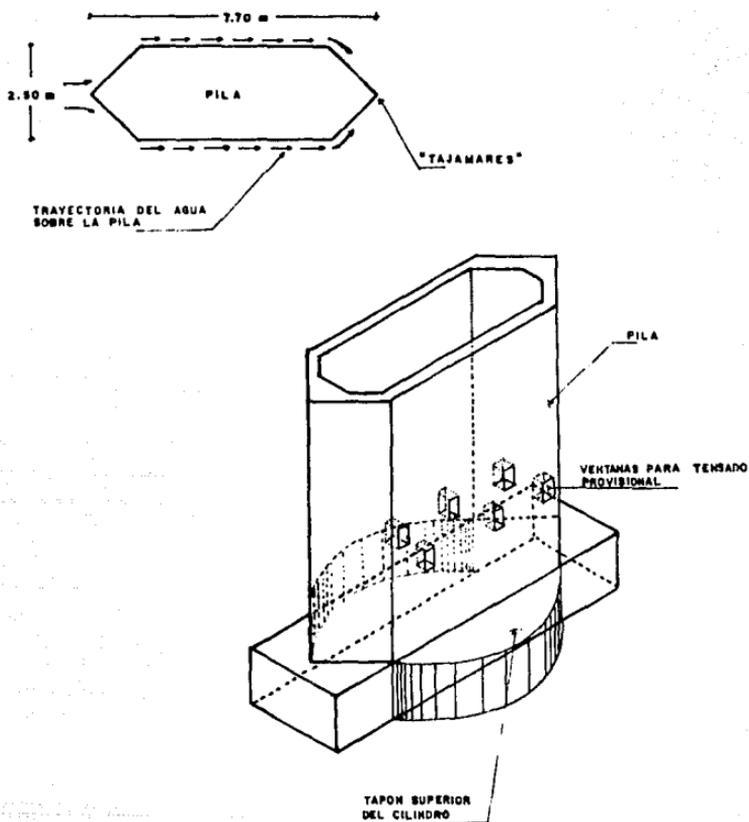


FIG. 16 SECCION DE LA SUBESTRUCTURA (PILAS)

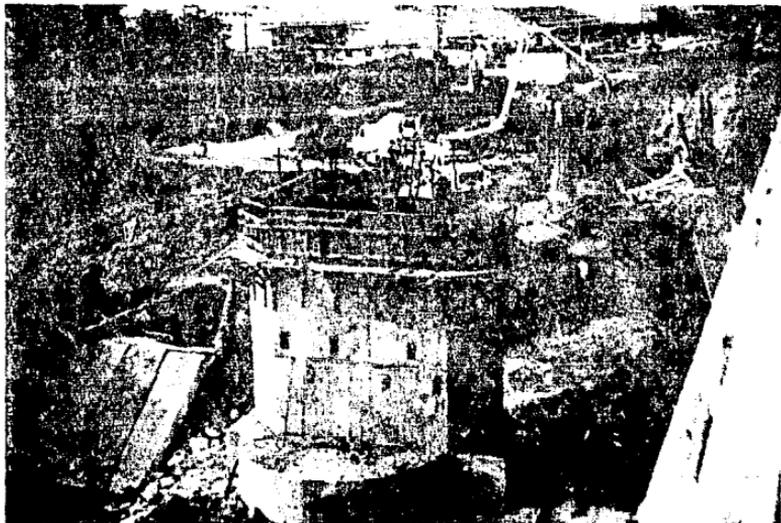
se debe asegurar bien la cimbra de contacto para evitar que esta se deforme al momento de realizar el colado.

Los colados de las pilas, se realizaron en tramos de aproximadamente 1.50 m cada uno, ejecutando un ciclo de actividades de: armado, cimbrado, colado y descimbrado; y así, hasta llegar a la altura de pila marcada por proyecto.

El colado de los caballetes se realizó en partes; ejecutando el mismo ciclo que para las pilas.

Finalmente, en lo que respecta a esta etapa, se colocaron los apoyos de neopreno, que servirán para absorber los movimientos a los que se vaya a encontrar sujeto el puente ya en operación; colocándose también las preparaciones para el anclaje de las dovelas de pila, donde estas dovelas serán el inicio de la construcción de la superestructura (ver plano de pilas; ejes 2 y 3).

Y así de esta manera, se termina esta fase y se pasa a la última que se refiere a la construcción de las dovelas en doble voladizo, que será la parte correspondiente a la Superestructura.



CIMBRADO DE UNA SECCION DE LA PILA.



COLADO DE UNA SECCION DE LA PILA.

FALLA DE ORIGEN

V.4 SUPERESTRUCTURA (DOVELAS TIPO CAJON EN DOBLE VOLADIZO)

Las Superestructuras construidas por el procedimiento de dovelas en doble voladizo sin obra falsa, se ha convertido en un procedimiento clásico.

Este método consiste en construir la obra partiendo de una o varias pilas, adosando con cables de presfuerzo dovelas cuya longitud es por lo general de 3 a 4 m, a cada lado de la pila. Como la construcción se realiza a partir de las pilas, es necesario que el equilibrio de la obra se conserve constantemente, por lo que las dovelas se cuelan simétricamente con respecto a la pila. No se puede, sin embargo, evitar la asimetría de carga proveniente del peso de una dovela antes de la ejecución de la dovela simétrica. Por lo tanto, es necesario que la superestructura se ancle sobre la pila durante su construcción, para evitar su volteamiento. Dicho anclaje en la pila se realiza mediante acero de presfuerzo (ver fig. 17 y Plano de Pilas No.3).

La sección de la superestructura como ya se indicó anteriormente, tiene la forma de un cajón, tal y como se determinó en proyecto y se muestra en la fig. 11 y en los Planos Nos. 1 y 5. El cableado se planeó de tal manera que en cada dovela terminan algunos de los cables; cuando éstos se tensan, las dovelas quedan unidas con las precedentes, con capacidad suficiente para autosoportarse y a la vez soportar a la siguiente.

La aplicación de este procedimiento de construcción de

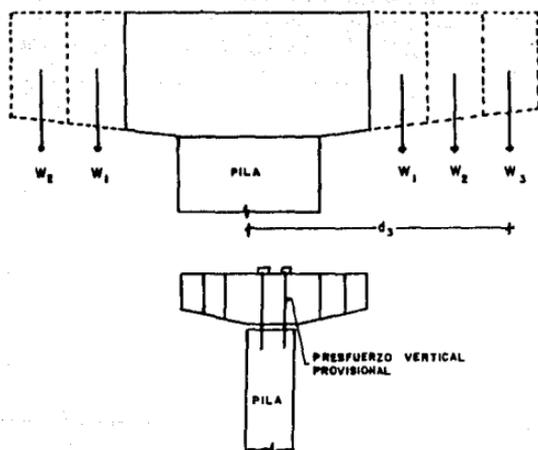


FIG. 17 EQUILIBRIO EN CONSTRUCCION

superestructuras en doble voladizo, conviene especialmente cuando se trata de franquear cursos de agua permanente, en algunos casos alojados en barrancas profuridas, con pilas de gran altura. Su construcción se hace por etapas cortas y repetidas que requieren poca mano de obra, aunque si altamente especializada y su avance es independiente de los regimenes de las corrientes de agua.

Con lo que respecta a la construcción del puente "LA FIGUA II" -- (obra en estudio) y refiriéndose básicamente a la superestructura, etapa en cuestión, es una de las más importantes y quizás de las que habrá que ponerle la mayor atención en su desarrollo, ya que su ejecución como se ha mencionado anteriormente, se basa en el sistema de doble voladizo, utilizando para ello acero de presfuerzo y cimbra deslizante.

Para mayor comprensión de la superestructura y en sí del procedimiento constructivo empleado, dividiremos esta etapa en las siguientes actividades:

- A) CONSTRUCCION DE DOVELAS SOBRE PILA
- B) DISPOSITIVOS DE COLADO
- C) COSTRUCCION DE DOVELAS EN VOLADO
- D) DOVELA DE CIERRE
- E) DOVELA DE ORILLA

La secuencia constructiva de este procedimiento incluye las actividades mencionadas anteriormente y se detallarán enseguida.

A) CONSTRUCCION DE DOVELA SOBRE PILA

Esta dovela, se encuentra exactamente sobre la pila y de ella arrancan los volados a ambos lados de cada una de las 2 pilas centrales.

Como la altura de las pilas era apropiada y las condiciones del terreno lo eran también, esto permitió utilizar una obra falsa para soportar los volados de la dovela sobre pila, apoyandola desde el nivel del terreno natural. Para lo cual, primeramente se realizó la compactación del terreno circundante a la pila, colocando enseguida la obra falsa a base de andamios tubulares, esto por la rapidez y economía en su aplicación. (ver fig. 18).

Una vez colocada la obra falsa, se procede a cimbrar con madera los fondos y costados de la dovela sobre pila y a colocar el acero de refuerzo y de presfuerzo, dejando hechas las preparaciones (cajas y ductos) consideradas en proyecto, esto para poder realizar posteriormente al colado, el anclaje provisional del elemento en cuestión, a la pila.

Como la dovela sobre pila no es continua con el cuerpo de la pila, se requiere que una vez terminada, se fije en forma provisional para evitar un posible volteamiento del tablero durante su construcción, lo que generalmente se hace mediante un presfuerzo vertical provisional, que se aloja en las paredes del cuerpo de la pila. Este presfuerzo, es necesario retirarlo una vez terminado el doble voladizo (ver fig. 19 y Plano de Pilas No.3).

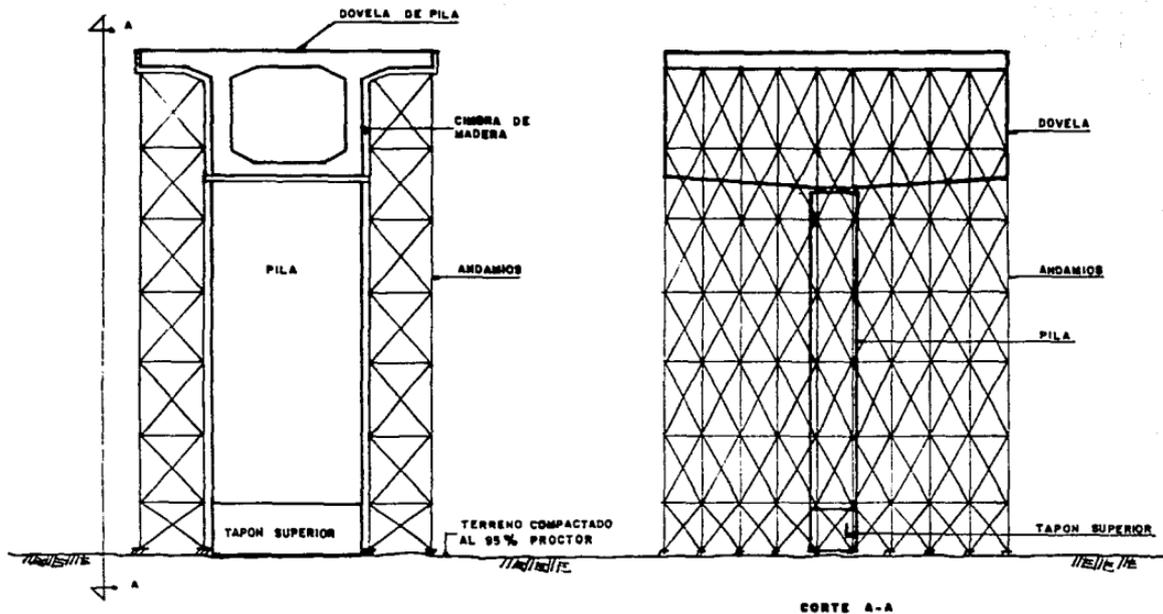


FIG. 18 OBRA FALSA PARA DOVELA SOBRE PILA.

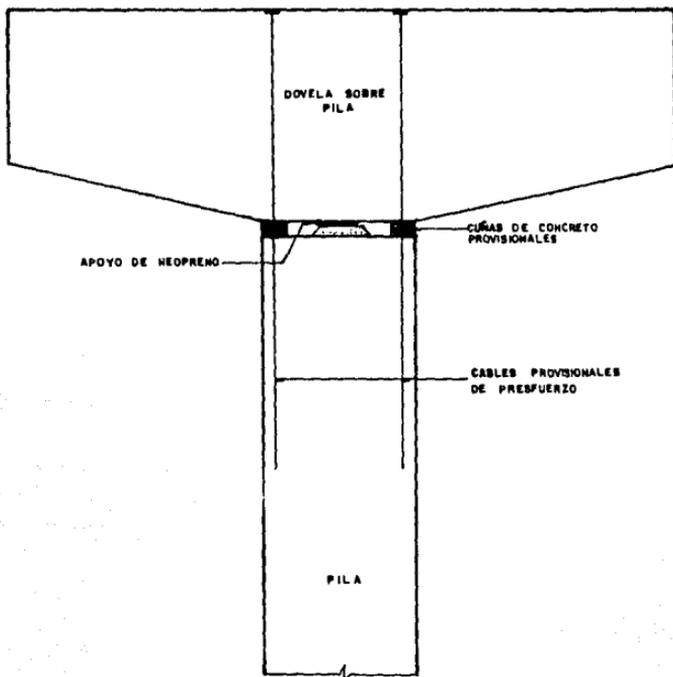


FIG. 19 EMPOTRAMIENTO PROVISIONAL EN LA PILA

Después de haber colocado y revisado, tanto el acero de refuerzo como los preparativos del acero de presfuerzo que servirán para el anclaje provisional, el siguiente paso es colar dicha dovela, siendo la mezcla de diseño de esta de una resistencia de $f'_c = 350 \text{ kg/cm}^2$; como estos elementos se cuelan en forma aislada y por separado, para tal efecto fue necesario el empleo de una bomba de concreto para realizar la colocación de dicha mezcla.

El colado de esta dovela se realizó en tres etapas, al igual que las dovelas subsecuentes, ejecutando primeramente el fondo, enseguida a esto los costados y por último la losa superior, como se muestra en la fig. 20.

Después del colado de este elemento, la cimbra permaneció aún por un periodo aproximado de 15 días, esto hasta el momento de haber alcanzado el 80% de su resistencia de proyecto. Posteriormente, se procedió al descimbrado para poder ejecutar el tensado y así de esta manera dejar anclada esta dovela. Dicho tensado se realizó por las ventanas que se realizaron en el cuerpo de la pila, mostradas en la fig. 17 y plano correspondiente a pilas No 3.

Finalmente al haber sido revisado y autorizado dicho anclaje, se procedió a dejar el área libre al armado de la estructura metálica (carros o dispositivos de colado), que se fijó a la dovela sobre pila, dando así por concluida la realización de la construcción de las dovelas sobre pila.

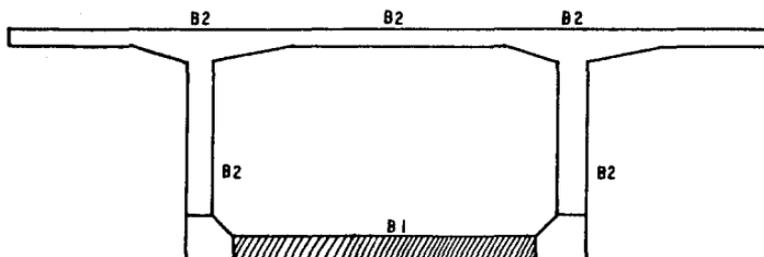


FIG. 20 FASES DE COLADO

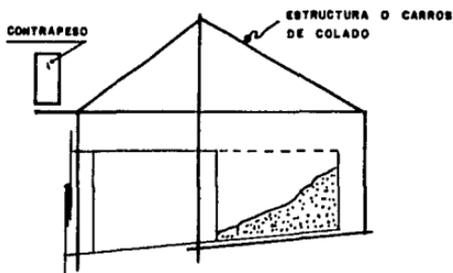
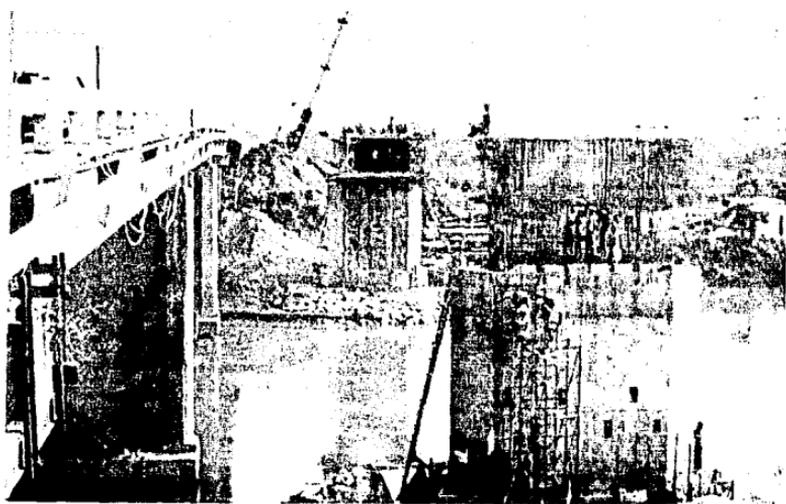
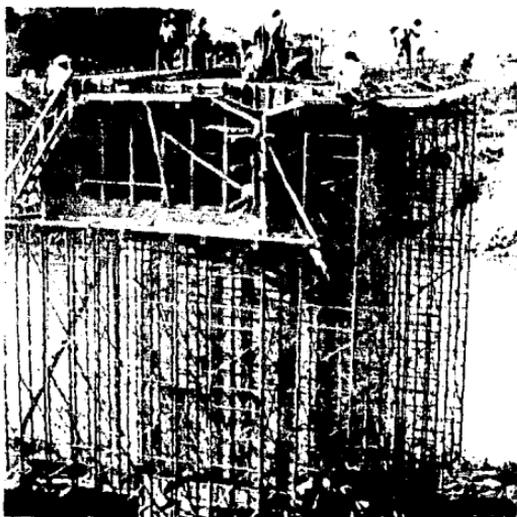


FIG. 21 AVANCE DEL COLADO DE UNA DOVELA

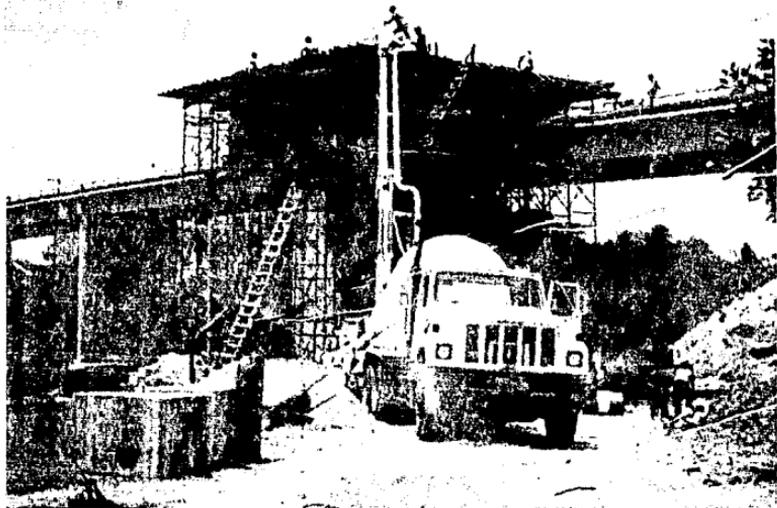


MONTAJE DE OBRA FALSA PARA SOPORTE DE LA DOVELA SOBRE PILA.

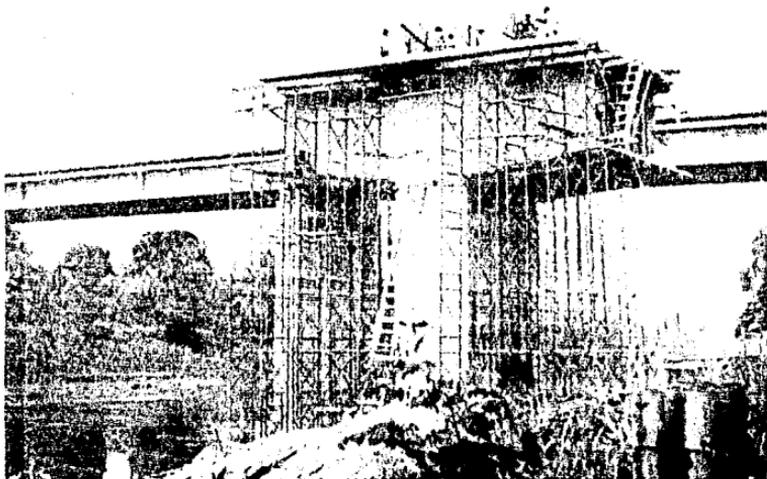


CIMBRADO DE LA DOVELA SOBRE PILA.

FALLA DE ORIGEN



COLADO DE LA DOVELA SOBRE PILA.



DOVELA SOBRE PILA COLADA Y DESCIMBRADA.

B) DISPOSITIVOS DE COLADO

Una vez que la dovela sobre pila ha alcanzado la resistencia necesaria y se ha presforzado y anclado, se procede al montaje de los dispositivos móviles de colado (fig. 22), que consisten en estructuras metálicas formadas por perfiles comerciales y placas de acero ensambladas por medio de soldadura, remaches o tornillos; estructura cuya mitad posterior se apoya en el elemento construido y la otra mitad queda en el voladizo con la longitud suficiente para alojar los moldes y las plataformas de trabajo que se utilizarán en la construcción de la siguiente dovela y asimismo permitir ejecutar las maniobras necesarias. Estas estructuras, una vez sujetas sobre el elemento ya construido, son capaces de soportar su peso propio y el peso de la dovela por construir. Su montaje se hizo en secciones mediante grúas montadas sobre orugas. Para control de nivelación de estos elementos, se colocaron aditamentos especiales en varios puntos, ya que la exactitud de estas medidas depende la geometría final de la obra, habiendo sido preciso tomar en cuenta los innumerables factores que influyen en provocar deformaciones en los voladizos y que son principalmente: el peso del dispositivo móvil, el peso del nuevo colado, el tensado del acero de presfuerzo, la temperatura ambiente, la temperatura del concreto, el peso del equipo y personal sobre el voladizo, la deformación a largo y corto plazo del concreto, etc.

El número de estos elementos se determina básicamente en función del programa de trabajo, tomando en cuenta un avance de una dovela por dispositivo y por semana en promedio, tiempo en el cual se

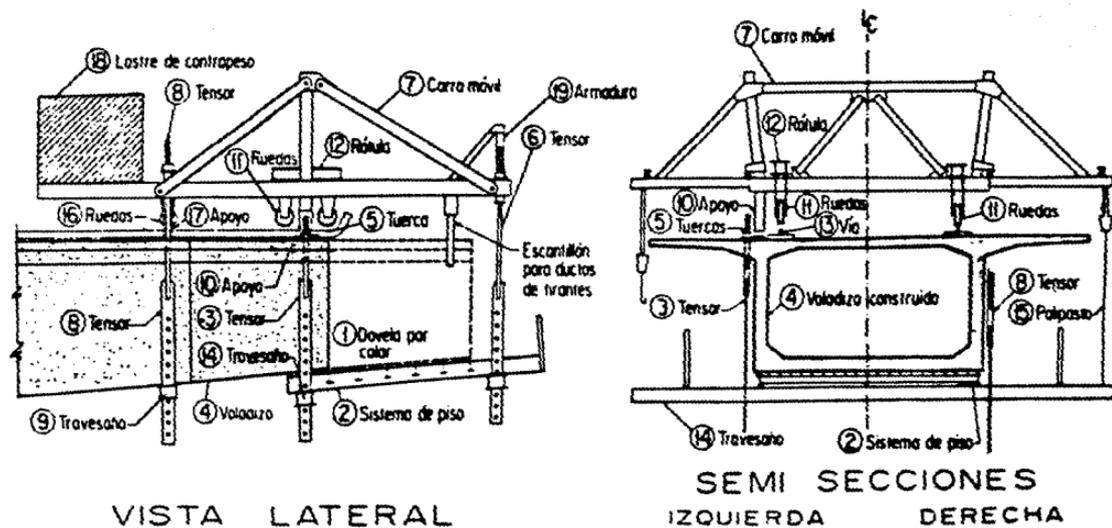


FIG. 22 CARRO MOVIL DE COLADO

involucran las actividades que comprenden la ejecución o colado de un elemento o dovela. En nuestro caso, el número de carros fue de cuatro.

A continuación se explica la composición y el funcionamiento de los dispositivos de colado.

El fondo de la cimbra, con la plataforma de servicio, se suspenden del dispositivo, así como las cimbras interior y exterior de la dovela. Cuando la sección de la superestructura del puente es de altura variable, como lo es el caso de la del puente "LA FIGUA II", la cimbra interior y exterior son ajustables.

La estabilidad y funcionamiento del carro móvil durante el colado de una dovela y después de él, se detallan en la fig. 22. El peso de la dovela por colar (1), se distribuye --mediante un sistema de piso (2)--, en dos soportes: el tensor (3) que ancla directamente en el voladizo ya construido (4) mediante la tuerca (5), así como el tensor (6) que pende del carro móvil (7). La acción de este tensor tiende a hacer girar el carro, lo que se impide con la sujeción de este al voladizo mediante el tensor (8) y el travesaño (9), juntamente con el apoyo (10). Este apoyo funciona como articulación convencional, a fin de equilibrar la acción de los tensores (6) y (8).

Todos los tensores están estructurados de la siguiente forma: una sección superior roscada mediante la cual se anclan y una inferior a manera de paleta dotada de agujeros que permiten ajustar los

moldes al peralte requerido por la dovela, durante su construcción.

Ya construida la dovela y alcanzada la resistencia especificada, se tensan los cables longitudinales, mediante el procedimiento que posteriormente se describirá.

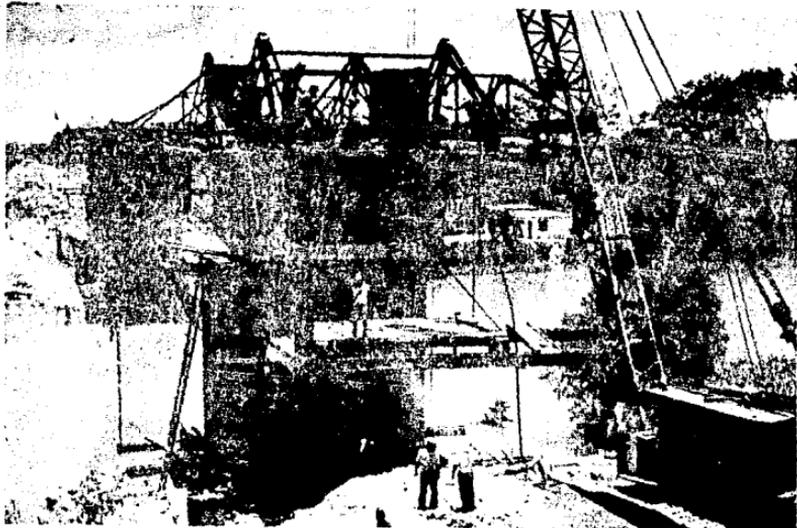
Con lo anterior la dovela construida queda integrada al voladizo (4) prolongándolo, precisándose entonces correr el carro para construir la siguiente dovela. Este corrimiento se efectúa de la siguiente manera.

En la semisección izquierda de la misma figura, se observa cómo el carro móvil sienta en el voladizo (4) --en el plano de los tensores (3)-- mediante el apoyo (10), mientras que las ruedas (11) articuladas al carro (7) con la rótula (12), están separadas de su vía de rodamiento (13). Mediante la acción de gatos se retira el apoyo (10), para que las ruedas sienten en la vía. También con gatos se afloja el tensor (3) y se suelta de manera que cuelgue del travesaño (14) --tal como se observa en la semisección derecha de la figura 22 para el tensor (8)--. Este travesaño queda a su vez colgado del carro móvil (7) mediante el polipasto (15).

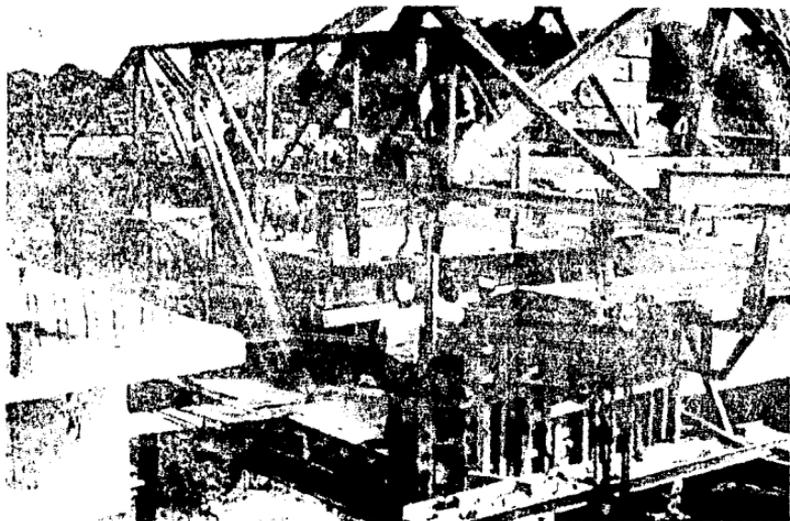
Este mismo procedimiento se sigue para soltar el tensor posterior (8) y permitir que el carro sienta también en esta parte, en la vía (13), mediante las ruedas (16), para lo cual también se retira el apoyo (17).

Al cambiar el carro por la simple acción de los tirfords anclados al voladizo, es equilibrado por el contrapeso (18).

Y por último, con lo que respecta a esta actividad, se menciona que una vez aplicado el presfuerzo, se sueltan los dispositivos móviles de colado y se corren hacia adelante mediante el uso de tirfords y gatos, hasta colocarlos en posición para el colado de la siguiente dovela. Esta maniobra requiere realizarse con todo cuidado, para evitar un rápido corrimiento y con ello la posibilidad de caída.



MONTAJE DE ESTRUCTURA O CARRO DE COLADO,
PARA CONSTRUCCION DE DOVELAS EN VOLADIZO.



CIMBRADO DE DOVELAS.

FALLA DE ORIGEN

C) CONSTRUCCION DE DOVELAS EN VOLADO

Este punto se refiere a la construcción de las nueve dovelas que forman las ménsulas de cada uno de los volados; en total 36 dovelas de este tipo.

Una vez colocada, anclada y nivelada la estructura (dispositivos móviles de colado), con sus respectivas contraflechas marcadas por proyecto, se coloca la cimbra de contacto (acabado aparente) sobre dichos dispositivos de colado y enseguida a esta actividad se coloca el acero de refuerzo y los ductos para el acero de presfuerzo. Los ductos del acero de presfuerzo, reclaman una mayor atención en su colocación, ya que un descuido puede provocar hasta una demolición de la dovela, estos ductos deben guardar su posición durante el colado, por lo que se recomienda sujetarlos lo más firme posible a la pared. Y al momento de realizar el colado, se debe vigilar el vibrado, porque la aguja del vibrador puede llegar a penetrar los ductos y esto permitiría la entrada de concreto, ocasionando obturaciones en dichos ductos que posteriormente impedirían el insertado de los cables de presfuerzo.

Cabe mencionar que el acero de refuerzo en las dovelas es sumamente escaso, siendo del orden 60 kg/m^3 , por lo que no resulta significativo el tiempo de su colocación. Siendo necesario apuntar que no existe acero de refuerzo para la conexión entre dovela y dovela.

Al igual que para la dovela de pila, el colado de las dovelas en volado se realizó en la misma forma, iniciando con la losa inferior de ambos volados de cada una de las pilas centrales (fase 1). Después se colaron las almas o paredes (fase 2) y para finalizar la losa superior (fase 3), esto con el fin de equilibrar las cargas que se aplican a la estructura y evitar una falla de la misma al cargar solamente de un lado. Dicha secuencia de colado se muestra en la fig. 20; pero las dos últimas fases pueden hacerse una sola, e inclusive se puede colar toda la sección en forma monolítica, esto de acuerdo al volumen de concreto por elemento a ejecutar. El armado de las dovelas se llevó a cabo conforme al avance de la ejecución de la obra.

El colado de las dovelas se hace empezando por la extremidad vacía y dirigiéndose hacia el sentido de la pila como se indica en la fig. 21, esto con el objeto de limitar al mínimo la deformación del concreto, debido a la deflexión de la cimbra en el transcurso de la aplicación del concreto.

La calidad del concreto que se emplea para esta etapa queda definida por:

- 1) La resistencia mínima especificada por el proyecto. Generalmente es de $f'_c = 350 \text{ kg/cm}^2$ o mayor.
- 2) La resistencia del concreto necesaria para realizar el tensado, la cual depende de las características de anclaje y del tiempo considerado en la secuencia de construcción para alcanzar dicha resistencia.

Para obtener esta resistencia y la regularidad de la calidad del concreto, es indispensable la utilización de agregados lavados y bien clasificados, manteniendo el estudio de granulometría constantemente (trabajos realizados en la planta de concreto).

También es conveniente el empleo de algunos aditivos en el concreto, como retardantes de fraguado, fluidizantes para disminuir la cantidad de agua y en esta forma acelerar el endurecimiento.

Una vez colado el concreto, se puede curar por cualquier método convencional, por ejemplo: aplicando agua o aditivo de curado. En algunos casos, que no fue el nuestro, es necesario emplear algún método que disminuya el calor de hidratación del concreto para evitar contracciones excesivas; puede emplearse también cemento de bajo calor de hidratación o colocar un sistema de enfriamiento adosado a la cimbra, a base de un serpentín por el cual se haga correr agua a bajas temperaturas.

Posteriormente a la terminación del colado de cada una de las dovelas, esperamos las primeras 72 hrs para tronar los cilindros de prueba de concreto y si al probar dichos cilindros resulta un 80% de la resistencia de diseño, podemos iniciar el tensado de estas dovelas.

La duración de un ciclo de ejecución de las dovelas, depende principalmente del plazo necesario para obtener la resistencia del concreto, que permita la aplicación del presfuerzo.

El acero de presfuerzo para los volados, lo constituyeron cables torón 12T13 (12 torones de 13 mm) con tensión inicial en el anclaje de 165 a 175 ton, que corren longitudinalmente por las almas con trazo parabólico de acuerdo a las solicitaciones calculadas en proyecto, en forma simétrica a cada lado de la dovela.

El cableado clásico comprende tres grupos de cables, como muestra en la fig. 23. Los cables del tipo "A", destinados a realizar el presfuerzo de los volados durante la construcción y a resistir los momentos negativos en la zona de la pila, son cables simétricos repartidos en la losa superior sobre las pilas y llevados hacia las almas, para ser bajados y anclados en forma sucesiva. En esta parte terminal, su inclinación contribuye a la resistencia al esfuerzo cortante.

Los cables del tipo "B", destinados a realizar la continuidad de la obra y a resistir los momentos positivos en la zona central del claro continuo, se colocan en la intersección de la losa con el alma y vienen a anclarse en el lugar previsto en el interior de los cajones o fuera de la losa superior.

En fin, el tercer grupo de cables del tipo "C" asegura el presfuerzo de la parte baja de las secciones de los claros hacia la zona de los apoyos extremos del puente. Estos cables se anclan por una parte en el final del puente y por otra en el interior de los cajones.

CABLES TIPO "A"



CABLES TIPO "B"



CABLES TIPO "C"

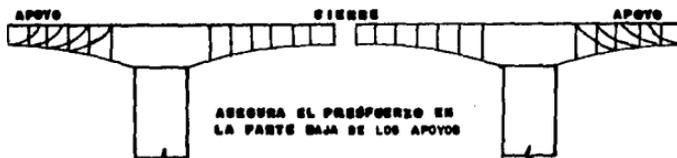


FIG. 23 CABLEADO PARA EL ARMADO DE LA ESTRUCTURA

Durante la ejecución, los cables se introducen en sus ductos a medida que se tensan, por lo cual es necesario que el sistema de presfuerzo permita un insertado fácil.

La operación de insertado se realizó como se muestra en la fig. 24. Los cables se enrollaron en un carrete, que se coloca en la superestructura detrás de los carros. El cable tiene en su extremidad un dispositivo, de diámetro menor o igual al diámetro del cable, que permite fijarlo a un piloto. El hilo piloto (de alambre de 7 mm de diámetro), tiene en su extremo libre un gancho que se fija a un malacate y permite jalar el conjunto hilo-cable de presfuerzo.

Cuando el concreto haya alcanzado la resistencia mínima especificada (280 kg/cm^2), se procede al tensado en forma definitiva de los cables correspondientes, según el orden de tensado que se observa en la fig. 25.

Antes de iniciar el tensado de cada cable, se comprobará que estos puedan ser movidos libremente dentro del ducto en toda su longitud.

Después de haber revisado los cables y de tener la seguridad de que se ha alcanzado la resistencia mínima de proyecto en el concreto antes mencionada , se instalan a continuación los gatos, cuyo conjunto se muestra en la fig. 26, en la cual se observa cómo está ranurado su chasis a fin de permitir el paso de los alambres del cable, los cuales, agrupados en pares, entran en unas

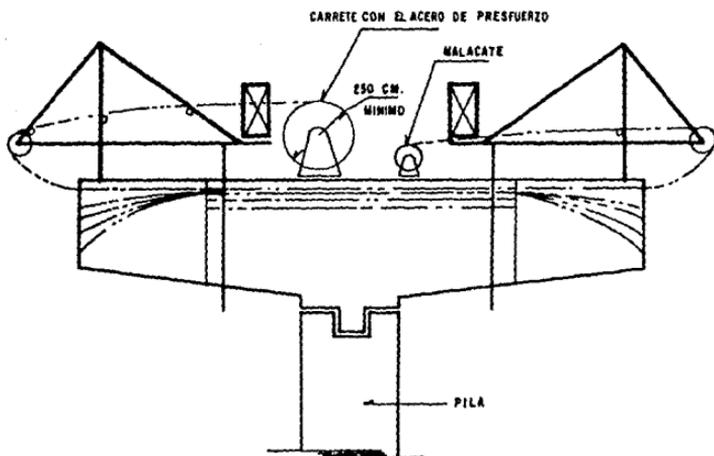
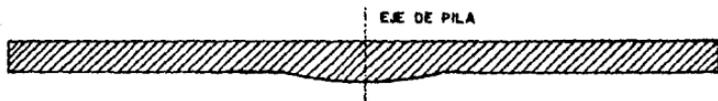
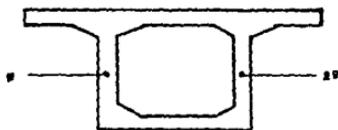


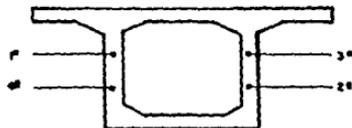
FIG. 24 INSERCIÓN DE CABLES



1.- DOVELA CON SALIDA DE 2 CABLES



2.- DOVELA CON SALIDA DE 4 CABLES



PARA LOS CABLES TENNADOS POR UN EXTREMO, SE ALTERNARA EL EXTREMO DE TENNADO (A O B) CADA DOS CABLES.

FIG. 25 ORDEN DE TENNADO PARA CABLES.

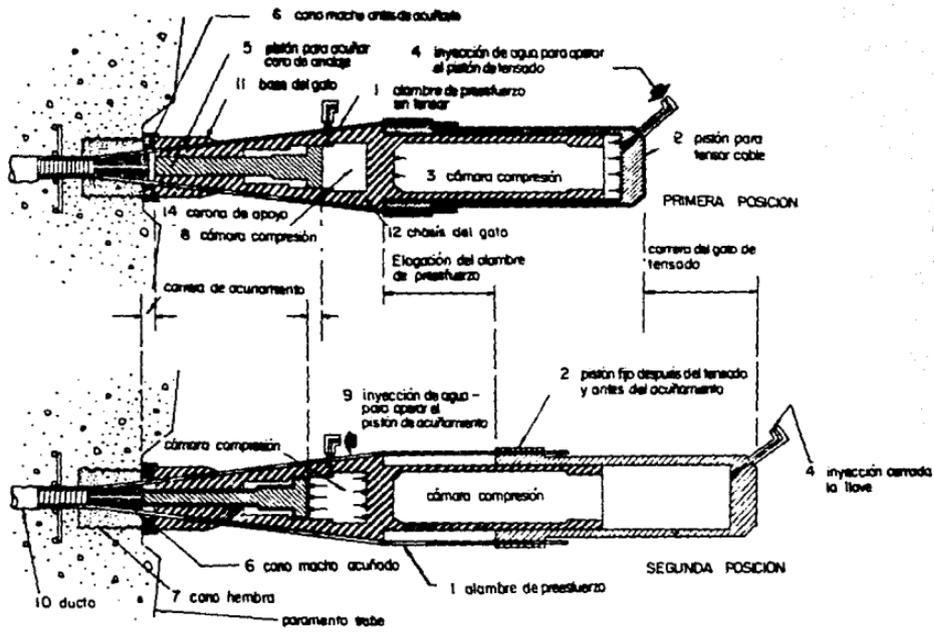


FIG. 26 GATO DE DOBLE ACCION

salientes del cuerpo del pistón de tensado, siendo agarrados con cuñas de sección trapezoidal y bordes acanalados que por lo mismo, se ajustan a las salientes del pistón del gato y a la sección de los propios alambres, estas cuñas son introducidas a golpes de martillo.

La base (11) (vease fig. 26), del gato se sienta sobre una pieza llamada corona de apoyo (14), la cual está en contacto directo con el cono hembra (7). Los alambres (1) son agarrados al cuerpo del pistón del gato (2) mediante cuñas, en la forma en que se explicó anteriormente.

Al inyectar agua limpia y aceite soluble en el tubo de entrada (4), el pistón (2) es desplazado en el sentido opuesto a la dovela, arrastrando consigo los alambres (1) que a él fueron anclados.

Las tuberías de alimentación que provienen de la bomba de inyectado y que conectan con la entrada (4), son de alta presión, debido a sus condiciones propias de trabajo, que llegan a ser hasta de 450 Kg/cm^2 .

Esencialmente, la bomba de inyectado consiste en un tanque metálico y dos pistones concéntricos que se operan manualmente mediante una palanca. Dispone esta bomba de un manómetro acoplado para medir presiones y una válvula que sirve para mantener o aliviar la presión del gato.

El alargamiento total del cable se logra en etapas, elevando la presión aplicada al gato, en incrementos de 100 kg/cm^2 , con objeto de registrar los alargamientos respectivos a diferentes esfuerzos de tensión y hacer las comprobaciones correspondientes.

Al comparar la primera y segunda posición del gato de tensado, mostradas en la Fig. 26, se describe gráficamente lo hasta aquí expresado de la operación del sistema de tensado.

A continuación se cierra la válvula que regula la entrada (4), inyectando ahora agua por la entrada (9) para operar el pistón que acuña al cono macho que entra en el conoembra oprimiendo firmemente los alambres contra éste.

El desplazamiento del gato de bloqueo, o sea el que hunde el cono macho, es regulado por presión manométrica, al aplicar a este segundo gato una presión sensiblemente igual a la última que se aplicó durante el tensado.

Se abren las válvulas para descargar los gatos, hasta llegar a la presión cero y se continúa bombeando hasta cerrar el gato y botar las cuñas que amordazan los alambres del cable en el pistón (2).

Al soltarlo, se registra un corrimiento del alambre hacia adentro de la dovela, que aparte de corresponder a la recuperación elástica del tramo del cable entre cono y cuña de agarre del gato, indica especialmente que el cable ha quedado fijado.

Al haber sido realizado revisado y aceptado el tensado de cada cable, se procede al inyectado de estos con lechada de cemento, en un plazo máximo de tres semanas después de la operación del tensado. La lechada deberá estar constituida por las siguientes proporciones en volumen: tres partes de cemento, una parte de arena como máximo que pase por la malla número treinta y dos (No. 32) y media parte de agua como máximo. La consistencia deberá ser semejante a la de una pintura espesa. La presión a la que se inyecta la lechada está comprendida entre 6 y 9 Kg/cm².

Terminadas las operaciones de tensado de los cables y habiéndose aceptado los valores de los alargamientos obtenidos, se cortan las puntas siempre y cuando estas se salgan del concreto acabado después del sellado.

Al haber concluido las operaciones de tensado de los cables, inyección de los ductos y corte de puntas de los cables, se coloca un sellado de mortero o de concreto, con un tamaño máximo de agregado grueso de 1 cm, para proteger los anclajes y las extremidades de los cables. Para el sello de las cajas de los cables con salidas en la losa superior, se usará un concreto epóxico.

Una vez que se ha tensado la dovela No. 1, se aflojan los carros y se corren hacia la dovela No. 2, repitiendo el proceso descrito anteriormente, hasta llegar a la conclusión de la dovela No. 9 de cada uno de los volados.

De los 4 carros o dispositivos de colado que se requirieron para la construcción de la obra, se bajaron 3 de estos elementos al concluir las nueve dovelas de cada volado, dejando solamente un carro (el C- 3, dispositivo de colado que va del eje de la pila 3 al eje de la pila 2), el cual fue empleado para la realización del colado de la dovela de cierre.

Y por último se hace mención que con el objeto de llevar un control de las deformaciones que se presentan en los voladizos y al compararlas con los datos proporcionados en el proyecto, se deberán efectuar nivelaciones de cada una de las dovelas ya construidas cuando se realicen las etapas siguientes de una nueva dovela.

- Después del corrimiento de los carros.
- Antes del colado.
- Después del colado.
- Después del tensado de la dovela.

Al tomar cada una de las nivelaciones, debe registrarse la temperatura en las caras interior y exterior del puente, la hora y la fecha; los puntos que se deben nivelar para una nueva dovela se observan en la fig. 27 y se mencionan a continuación:

- N₁, N₂ y N₃, nivelación de fondo.
- N₄, N₅ y N₆, N₇, nivelación de la cimbra exterior.
- N₆ y N₇, nivelación de la cimbra interior.

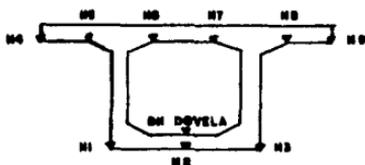
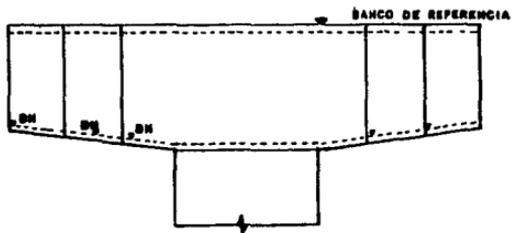
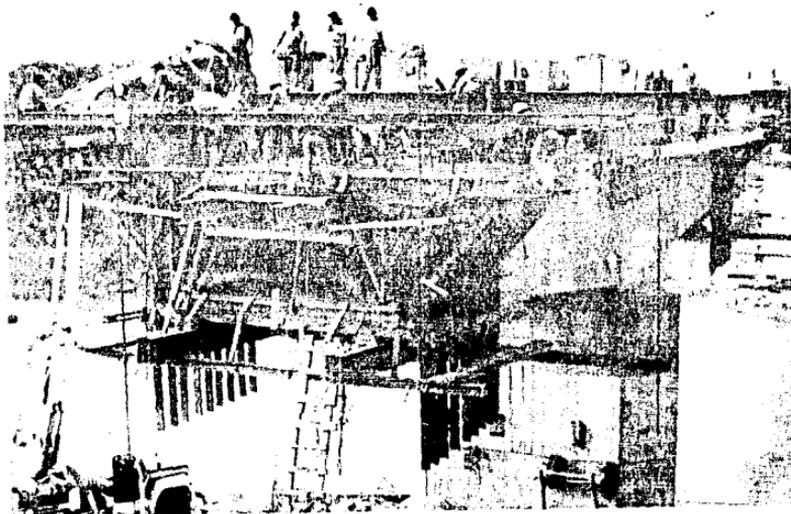
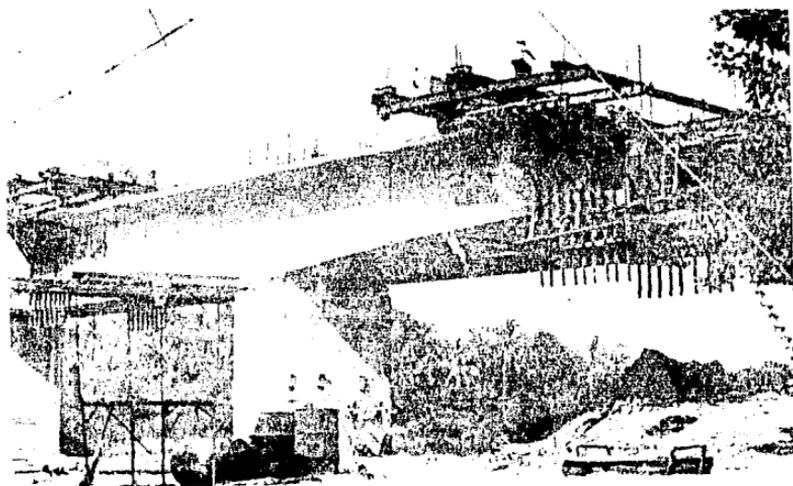


FIG. 27 PUNTOS DE NIVELACION



COLADO DE DOVELAS EN VOLADIZO.



EQUILIBRIO DE CONSTRUCCION EN LOS VOLADOS
DE LA SUPERESTRUCTURA.

FALLA DE ORIGEN

D) DOVELA DE CIERRE

Al llegar los dos volados al punto clave o de cierre, puede haber diferencias de nivel entre uno y otro. No se debe buscar eliminar esas diferencias de flechas modificando el nivel de las cimbras, sino provocar la igualación de los niveles, con la aplicación de dos fuerzas iguales y de dirección opuesta en los dos brazos de los voladizos por unir. Estas fuerzas desaparecerán con el tiempo debido al flujo plástico del concreto. En nuestro caso, la diferencia de nivel entre los dos brazos del volado del puente -- "LA FIGUA II" fue del orden de ± 1 cm.

Esta última dovela de cierre, no contempla acero de refuerzo y se lleva a cabo el colado con un sólo carro (dispositivo de colado C-3).

Tal y como se mencionó al final del punto anterior, de los cuatro carros que se tenían para la construcción de las dovelas, se bajaron tres, dejando solamente 1 carro, el C - 3 , que se montó sobre la pila del eje No. 3.

De la ejecución de esta etapa, en lo único donde se debe extremar cuidado es el curado, realizando este inmediatamente después del fraguado inicial y se debe llevar a cabo a base de baños con agua caliente durante 24 hrs inmediatamente, con el fin de evitar contracciones en el concreto del elemento en cuestión (dovela de cierre).

La descimbra de este elemento último y el retiro del dispositivo de colado, se puede efectuar después de las 72 hrs, dando con esto por concluida la realización de esta etapa.



ANCLAJES DE LA SUPERESTRUCTURA.

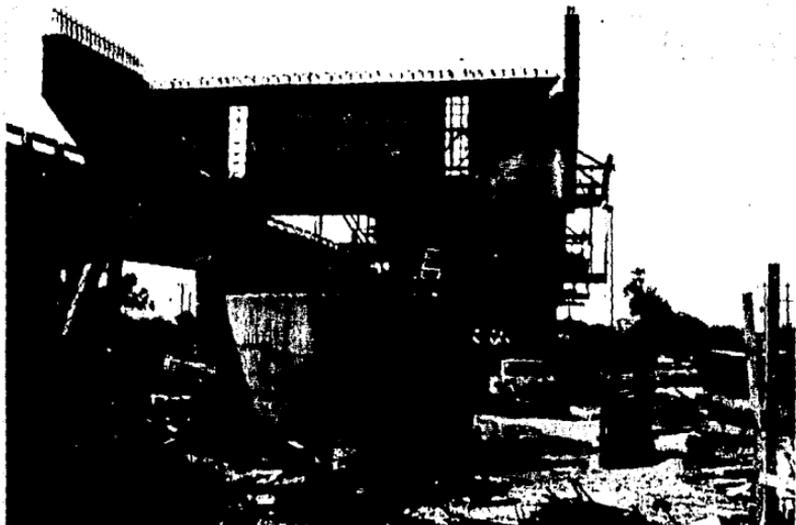


CIERRE DE LA SUPERESTRUCTURA.

EJ DOVELA DE ORILLA

Estas dos dovelas, localizadas una en cada uno de los apoyos exteriores (caballetes), ejes 1 y 4, se cimbran mediante el sistema ordinario o convencional, es decir, con madera y obra falsa, apoyada directamente sobre el terreno natural y se pueden colar en fechas indistintas cada una.

Una vez que se ha alcanzado el 80% de su resistencia mínima de proyecto (200 kg/cm^2), procedemos a tensar e inmediatamente después iniciamos el descimbrado; concluyendo así de esta manera la etapa en cuestión (dovela de orilla) y con esto la terminación tanto de la superestructura del puente como de la obra en su totalidad.



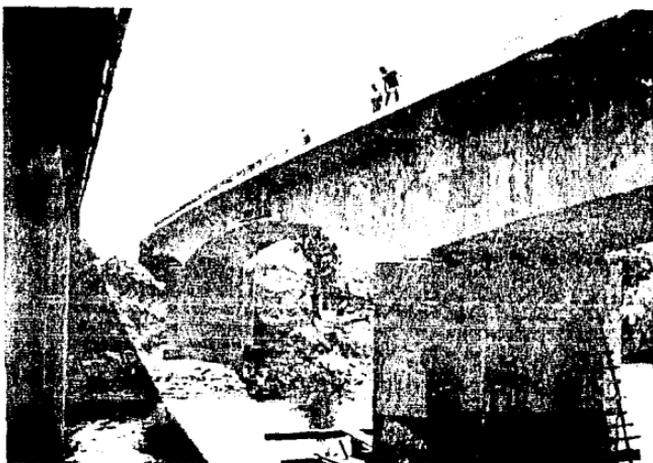
SECCION DE LOS CABALLETES.



PREPARATIVOS PARA COLADO DE DOVELA DE ORILLA.



VISTA GENERAL DE LA SUBESTRUCTURA Y SUPERESTRUCTURA
DE LOS PUENTES FIGUA I Y FIGUA II.



CONSTRUCCION CONCLUIDA DEL PUENTE FIGUA II.

VI.- CONCLUSIONES

1.- La construcción de puentes en voladizo, solamente debería emplearse cuando las condiciones del lugar en donde se va a desplantar este tipo de obras, sean sumamente difíciles para el empleo de una obra falsa, o se esté restringido de área para poder realizar elementos precolados.

2.- Según la experiencia en la construcción de puentes en doble voladizo, existe una limitación de claros a utilizar con esta técnica, que queda definida por el aspecto económico, sin embargo, se puede señalar que actualmente un puente en voladizo para carretera, debe preverse para los claros comprendidos entre 50 y 220 mts.

3.- Espero que los elementos que se acaban de exponer, puedan permitir una visión de conjunto de la técnica de construcción de puentes, por volados sucesivos, cuyo desarrollo actual da al concreto la posibilidad de llevar a cabo realizaciones cada vez más audaces, que se convierten en monumentos a la imaginación creativa del hombre, siendo un ejemplo palpable de esto el puente "Metlac", localizado en el estado de Veracruz.

4.- Las facilidades con que se cuenta actualmente para el desarrollo de los proyectos, la simplicidad de la ejecución, el empleo de un mínimo de equipo de construcción, el uso repetitivo de las cimbras, la alta eficiencia de la mano de obra, que se logra por el desarrollo sistemático del trabajo y la estética de

las formas resultantes, hacen que esta técnica sea cada vez más utilizada en el mundo.

5.- Por otro lado, con el empleo de dovelas prefabricadas, es el paso lógico en el desarrollo de la técnica de construcción de puentes en doble voladizo.

Dado que la explicación de esta variante del método es motivo de un extenso desarrollo, sólo mencionare algo de la simplicidad de ejecución y las ventajas que ofrece la realización de este tipo de obras con este sistema.

- Precisión geométrica y control de calidad.
- La velocidad de construcción puede ser programada de acuerdo a los requerimientos de la obra, ya que las dovelas se pueden prefabricar durante el período de construcción de la superestructura.
- Los efectos de contracción y flujo plástico sobre la estructura, se reducen notablemente, ya que las dovelas son coladas en su sitio uno o dos meses después de su fabricación.
- Trabajo independiente de las condiciones meteorológicas.
- Reducción en el empleo de mano de obra.

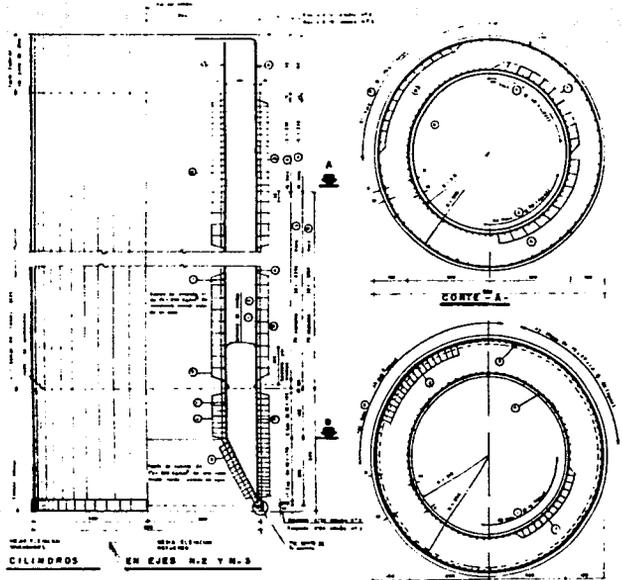
6.- En relación al punto anterior, el empleo de dovelas prefabricadas, sólo se justifica cuando el número de elementos por prefabricar y a colocar es importante.

7.- Finalmente, quiero señalar que aquí se han mencionado límites de aplicación del sistema. Sin embargo, estoy convencido de que los límites para esta técnica, deberán ser fijados por el desarrollo e imaginación de las nuevas generaciones de técnicos, que se interesen por ahondar en este campo.

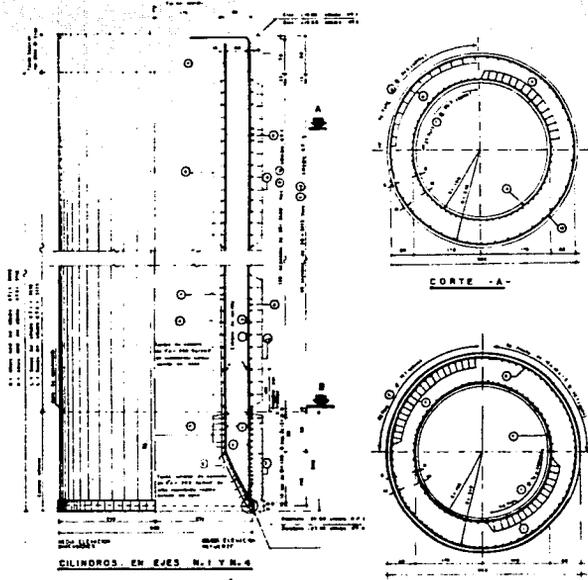
VII.- ANEXO

VII.- RELACION DE PLANOS

- VII.1.1 PLANO No. 1 PLANO GENERAL
- VII.1.2 PLANO No. 2 CILINDROS
- VII.1.3 PLANO No. 3 PILAS
- VII.1.4 PLANO No. 4 CABALLETES
- VII.1.5 PLANO No. 5 DOVELAS



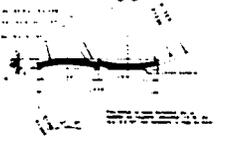
CILINDROS EN EJES N-E Y N-S



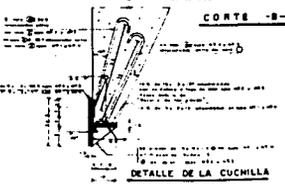
CILINDROS EN EJES N-E Y N-S

NOTAS

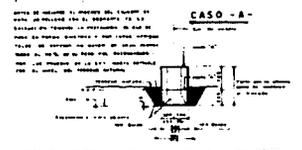
- 1. Dimensiones de los cilindros en metros.
- 2. Dimensiones de los cilindros en metros.
- 3. Dimensiones de los cilindros en metros.
- 4. Dimensiones de los cilindros en metros.
- 5. Dimensiones de los cilindros en metros.
- 6. Dimensiones de los cilindros en metros.
- 7. Dimensiones de los cilindros en metros.
- 8. Dimensiones de los cilindros en metros.
- 9. Dimensiones de los cilindros en metros.
- 10. Dimensiones de los cilindros en metros.
- 11. Dimensiones de los cilindros en metros.
- 12. Dimensiones de los cilindros en metros.
- 13. Dimensiones de los cilindros en metros.
- 14. Dimensiones de los cilindros en metros.
- 15. Dimensiones de los cilindros en metros.
- 16. Dimensiones de los cilindros en metros.
- 17. Dimensiones de los cilindros en metros.
- 18. Dimensiones de los cilindros en metros.
- 19. Dimensiones de los cilindros en metros.
- 20. Dimensiones de los cilindros en metros.



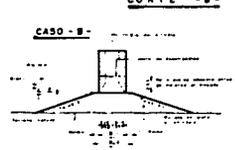
RECORTE DE LAS PLACAS



DETALLE DE LA CUCHILLA



DETALLES DE LA INICIACION DEL HINCADO DEL CILINDRO

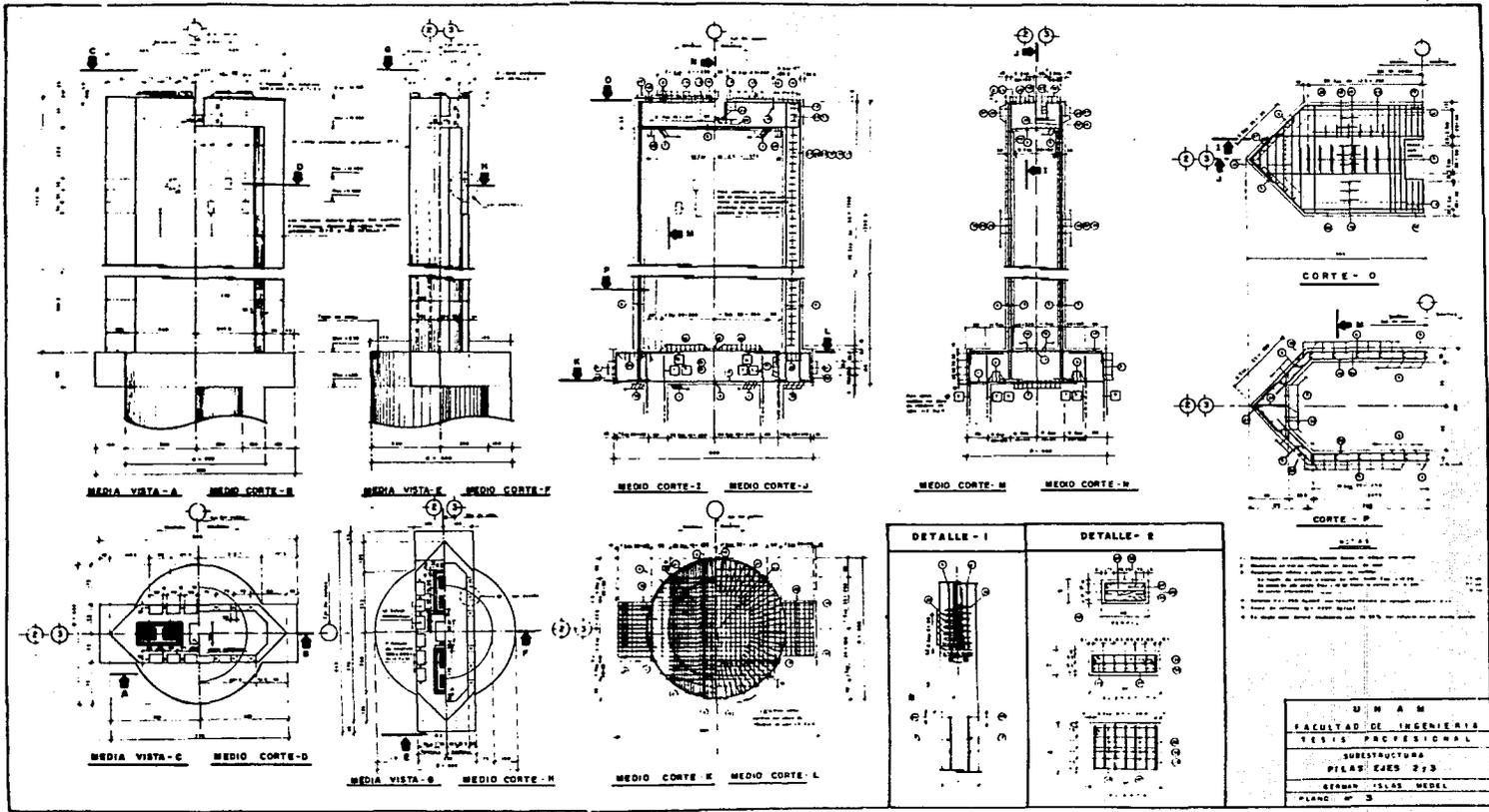


DETALLES DE LA INICIACION DEL HINCADO DEL CILINDRO

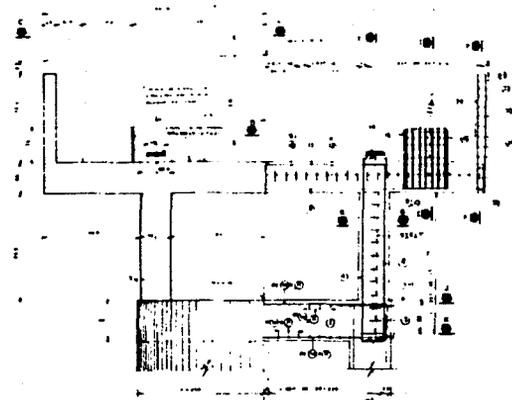


UNAM
FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL
INFRAESTRUCTURA
CILINDROS EJES 1,2,3 y 4
BERNABE ISLAS MEDEL
PLANO N° 2

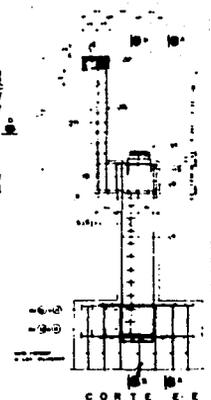
FALLA DE ORIGEN



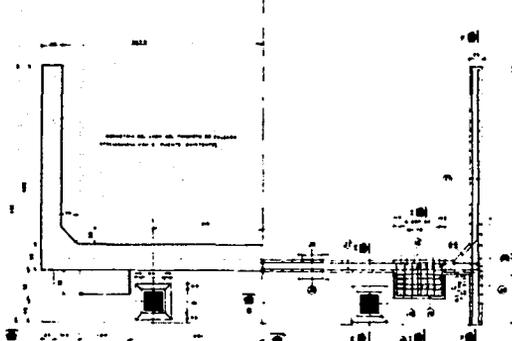
FALLA DE ORIGEN



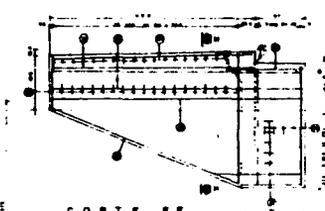
1/2 VISTA A-A



1/2 CORTE B-B



1/2 VISTA C-C



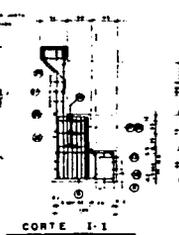
CORTE F-F



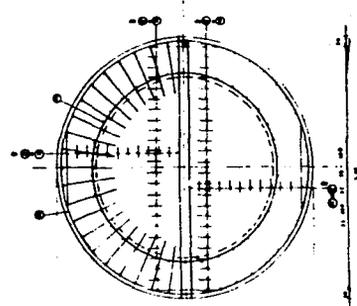
CORTE G-G



CORTE H-H

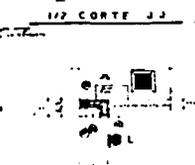


CORTE I-I



1/2 CORTE J-J

1/2 CORTE K-K



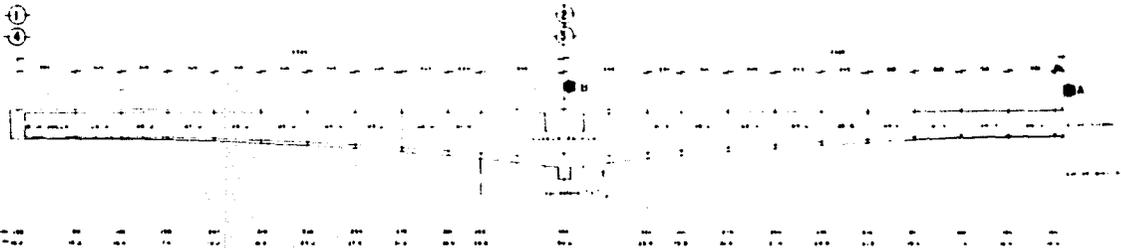
CORTE L-L

DETALLE
PREPARACIONES DE
BANDUETA

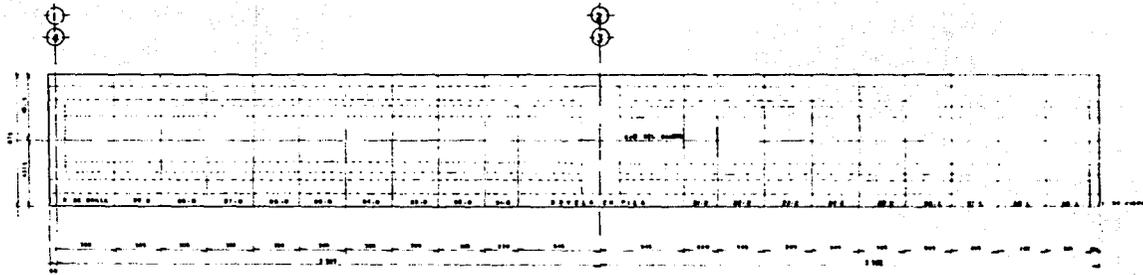
- NOTAS**
1. MATERIAL DE CONSTRUCCION
 2. MATERIAL DE ACABADO
 3. DIMENSIONES EN METROS
 4. ESCALA DE LOS PLANOS: 1:50
 5. DATOS DE REFERENCIA: PLANOS DE PROYECTO
 6. OBSERVACIONES: SEHA DE PROYECTO
 7. ELABORADO POR: [Nombre]
 8. APROBADO POR: [Nombre]

URAM
 FACULTAD DE INGENIERIA
 TITULO PROFESIONAL
 INGENIERIA EN
 CABALLETES EN SIER 194
 [Nombre]
 [Nombre]

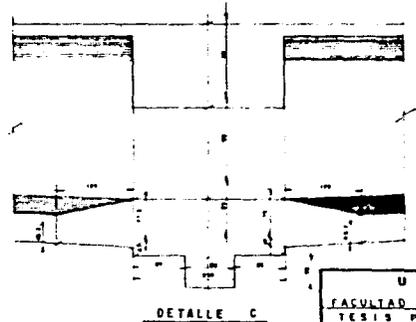
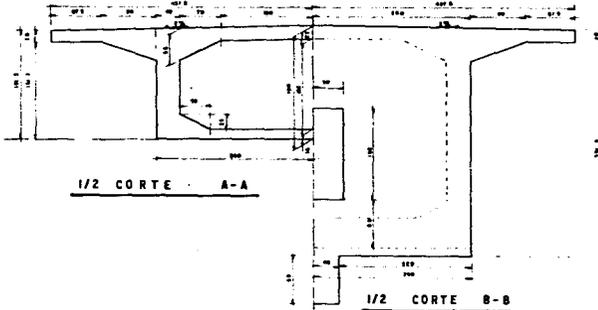
FALLA DE ORMEIN



ELEVACION



PLANTA



FALLA DE ORIGEN

U N A M
 FACULTAD DE INGENIERIA
 TESIS PROFESIONAL
 SUPERESTRUCTURA
 DOVELAS
 HERMAN JOSE REYES
 PLANO NO 2

VIII.- BIBLIOGRAFIA

- VIAS DE COMUNICACION (CAMINOS, FERROCARRILES,
VIAS, AEROPUERTOS, PUENTES Y PUERTOS).
ING. CARLOS CRESPO VILLALAZ.
EDITORIAL LIMUSA 1979. MEXICO.

- DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO PRESFORZADO.
T. Y. LYN.
ED. C.E.C.S.A., MEXICO.

- CIMENTACIONES.
LITTLE A. L.
EDITORIAL C.E.C.S.A., MEXICO.

- INTRODUCCION A LA MECANICA DE SUELOS Y CIMENTACIONES.
SOWERS G. B. Y SOWERS G. F.
EDITORIAL LIMUSA., MEXICO.

- APUNTES DE RUTA CRITICA.
FACULTAD DE INGENIERIA, U.N.A.M.

- ESTUDIO DE MOVIMIENTOS Y TIEMPOS.
COLECCION ECONOMICA DE LA EMPRESA.
EDITORIAL AGUILAR S.A. 1979, MEXICO.

- **NORMAS DE CONSTRUCCION.**
TOMO III.
SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES.
MEXICO 1981.

- **PUNTES DE HORMIGON ARMADO PRETENSADO.**
CARLOS HERNANDEZ CASADO.
TOMOS I y II.
EDITORIAL DOSSAT, S.A., MADRID 1961.

- **LA CONSTRUCCION DE PUNTES EN MEXICO.**
ING. RICARDO LASSO HERRERA.
SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES, MEXICO 1981.

- **PROYECTO, DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PUNTES**
(CILINDROS Y CAJONES).
PROF. JUAN MANUEL GARCIA CHAVEZ.
APUNTES DE LA DIVISION DE EDUCACION CONTINUA DE LA
FACULTAD DE INGENIERIA, U.N.A.M.; 1983.