

24 '80



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA

"CONSTRUCCION DE PUENTES"

Tesis Profesional

Que para obtener el título de:

INGENIERO CIVIL

p r e s e n t a n

ARMANDO GARCIA JAUREGUI
ALFONSO HERNANDEZ CAMPOS
JOSE MIGUEL MONDRAGON MARTINEZ



México, D. F.

1986



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.

I N D I C E .

	Página.
CAPITULO I. Introducción.	1
CAPITULO II. Cimentación y Subestructura.	4
II.1. Generalidades.	5
II.2. Cimentaciones.	8
II.2.1. Superficial.	8
II.2.2. Tipo Profundo.	12
a) Pilotes Precolados.	12
b) Pilas coladas en el lugar.	15
b.1) Sistema Benoto Tzemie.	20
b.2) Pilotes Augercast.	28
II.2.3. Cilindros.	29
II.3. Subestructuras.	33
CAPITULO III. Sistema tradicional.	38
III.1. Superestructuras de concreto reforza do.	39
III.2. Obras falsas.	40
III.3. Procedimientos de construcción.	41
III.4. Arcos de concreto.	46
CAPITULO IV . Prefabricados de acero.	54
IV .1. Montaje de trabes metálicas.	55
IV .2. Montajes de armaduras.	63
IV .3. Arcos metálicos.	68
IV .4. Estructuras Ortotrópicas.	73
CAPITULO V . Prefabricados Preesforzados de concreto.	78
V .1. Generalidades.	79
V .2. Sistemas de Preesfuerzo.	80
V .3. Sistema constructivo de superestructu- ras prefabricadas.	84
V .3.1. Superestructuras Prefabricadas Pre- tensadas.	84
V .3.2. Superestructuras Prefabricadas Pos- tensadas.	91

I N D I C E .

	Página.
CAPITULO VI . Doble Voladizo.	108
VI .1. Generalidades.	109
VI .2. Construcción de la Dovela sobre Pila. . .	115
VI .2.1. Obra falsa y cimbra tradicional. . .	116
VI .2.2. Obra falsa metálica.	116
VI .3. Montaje y fijación de carro móvil. . .	118
VI .4. Colado de Dovelas.	121
VI .5. Tensado de los cables de preesfuerzo. .	122
CAPITULO VII. Atirantados.	125
VII.1. Generalidades.	126
VII.2. Posición de cables en el espacio. . . .	127
VII.3. Procedimiento constructivo de la super- estructura.	133
CAPITULO VIII. Conclusiones.	139

CAPITULO I

INTRODUCCION

I N T R O D U C C I O N

Desde que el hombre habita este mundo, los puentes son la expresión de su voluntad de superar los obstáculos que encuentra en el camino hacia su objetivo, son testimonio de progreso, poder y decadencia: nos hablan de la cultura de los pueblos y de su mentalidad, desde la obra modesta, solamente funcional, hasta el monumento de formas perfeccionadas, encontramos tal -- multiplicidad de expresiones.

El primitivismo de los inicios, está basado en los materiales de construcción disponibles en la naturaleza = ante todo madera y piedra= y se conserva prácticamente sin modificaciones hasta nuestro tiempo, cuando por ejemplo colocamos un tronco de árbol sobre un arroyo para llegar a la otra orilla sin -- mojarnos los pies.

Desde lo más primitivo hasta la perfección artesana y técnica existe un largo camino, por el que se mueve el arte de construir puentes. Primero paso a paso aumentando el riesgo de derrumbamiento del puente; sin embargo el riesgo se transforma progresivamente en ponderación con ayuda de la experiencia, y -- mas tarde, también del arte del cálculo.

Se expresa el impulso de los hombres creadores de todos -- los tiempos, esta rara fuerza motriz que nos ha deparado el desarrollo vertiginoso de la técnica moderna, y realmente los -- puentes son cada vez más amplios y atrevidos, resultando también por lo general más bellos. Esto no favorece solamente a -- los grandes puentes, sino también a los pequeños, los que se -- utilizan para cruzar en forma ligera y elegante las autopistas o pasos elevados para resolver cruces en el tránsito urbano.

Además de cumplir con su función de comunicación, la belleza de los puentes tiene que ser un objetivo del Ingeniero, que por encima de sus ansias de progreso técnico, es consciente de su responsabilidad respecto a la humanidad, que solo podrá llevar una vida digna si se consigue configurar un ambiente urbanizado humano, es decir, amable y bello, donde los hombres puedan sentirse a gusto.

La evolución que han sufrido los puentes es consecuencia de varios factores como podrian ser:

Los cambios que han tenido los vehiculos de motor, tanto en sus dimensiones, como en su peso y velocidad de operación, el volumen de tránsito, a los tipos de materiales disponibles para su construcción, al avance en las técnicas de diseño y procedimientos de construcción, al control de calidad de los materiales, a las condiciones de seguridad para los usuarios, a razones económicas y de carácter arquitectónico.

Los puentes aunque requieren de estudios especiales para su proyecto, diseño y construcción, son objetivamente, una parte del camino y desde luego, tienen la misma función:

Permitir la comunicación vial para ayudar al progreso de la sociedad que los construye.

En el mundo existe una gran variedad de puentes, de los cuales en este trabajo solo hablaremos de los procesos constructivos de aquellos que cubren grandes claros, sin omitir la posibilidad de poder ser usados en puentes de claros cortos. Este tipo de puentes se resolvieron durante mucho tiempo con armaduras metálicas y estructuras colgantes, pero a partir de los años 50s, con la aplicación del concreto reforzado y la sección cajón se desarrolló principalmente el método de doble voladizo, ya sea con segmentos precolados ó totalmente colados en el lugar, construyéndose a partir de las pilas hasta alcanzar la mitad de

los claros adyacentes. Este método de construcción se puede adaptar para construir puentes de claros múltiples, eliminando las obras falsas en cauces profundos y ríos navegables, sin que la construcción se interrumpa por factores climatológicos, como en el caso de puentes construidos con el método tradicional.

El diseño de estos puentes es complejo y requiere la capacitación de un equipo especializado, lo cual ha permitido desarrollar nuevos métodos que permiten alcanzar mayor aproximación en el cálculo.

Los puentes de concreto de grandes claros pueden clasificarse en precolados y colados en sitio, y en base al procedimiento de construcción, en doble voladizo, y lanzados. Como una modificación ó alternativa se encuentran los atirantados incorporándose a los puentes voladizos que son los que soportan las do velas.

Un punto muy importante en los puentes es el cruce el cual queda definido por el trazo de la línea no importando si la estructura resulta esviada o en curva horizontal, lográndose así una mayor comodidad y seguridad para los usuarios. Buscándose se conciliar la mejor solución de esta con las condiciones topo gráficas y geológicas del cruce, en casos muy especiales, el al ineamiento de la ruta queda obligado por la importancia y características del puente.

El proyecto definitivo y la construcción de un puente son en realidad las últimas etapas de un proceso que se inicia con la planeación de la obra.

CAPITULO II

CIMENTACION Y
SUBESTRUCTURA

2.1

G E N E R A L I D A D E S

La cimentación y subestructura de un puente queda delimitada por ciertos factores que contribuyen para el diseño de éstos. Estos factores son resultado de estudios preliminares los cuales se observan en el lugar por medio de datos estadísticos recopilados por varios años, estudios del lugar mediante pruebas en sitio y en laboratorio, de éstos estudios podríamos citar los siguientes que podrían ser los de mayor importancia:

- GEOLOGICOS.

Con estos estudios por medio de sondeos podemos determinar la estratigrafía del subsuelo que es de gran importancia pues de ellos o en base a ellos se desarrolla el diseño de la cimentación.

- TOPOGRAFICOS.

Aquí se efectúan levantamientos topográficos con aparatos de alta resolución para la definición del trazo del puente.

- CLIMATOLOGICOS.

Aquí se obtienen los datos estadísticos con el fin de hacer una programación de obra. Esto es, tratar de que ningún fenómeno climatológico afecte o interrumpa la obra durante su construcción. Aunque con los adelantos en los procesos constructivos, de puentes, algunos de estos fenómenos han dejado de tener cierta influencia en su construcción. Algunos de éstos registros podrían ser:

Registros de lluvias, ciclones, crecientes de río, en caso de que el puente vaya a servir para cruzar un río, etc.

- ZONAS INUNDABLES.

Durante la construcción de un puente o una obra en general es muy importante tener un registro de inundaciones pasa-

das en el perímetro de la obra con el fin de proyectar los accesos a la obra por zonas no inundables, con el fin de tener una gran fluidez tanto de acceso como de salida de la obra.

- SOCAVACIONES.

En caso de ser un cruce de río, en base a registros para determinar la profundidad de las cimentaciones, para que éstas no sean afectadas por la socavación.

- VIENTOS.

Al igual que los dos puntos anteriores se tienen registros de los vientos, que es un dato básico para el diseño tanto arquitectónico (por la forma que se le tendrá que dar a su subestructura y estructura), como estructural por su altura.

- MANIOBRAS DE TRANSITO.

Mediante estudios preliminares o consultas con los organismos encargados del tráfico, ya sea fluvial, ferroviario, carretero, etc., para determinar la longitud del claro principal a vencer.

- ZONAS INDEMNIZABLES.

Como es sabido, la cimentación y subestructura es la base de desplante del puente de la cual se tendrán que hacer ciertos avalúos para conocer el monto de las indemnizaciones de los predios afectados.

- GALIBOS DE TRAFICO.

La S.C.T. a través de sus direcciones generales determina un galibolibre mínimo para el puente.

Hasta ahora sólo se ha hablado de algunos estudios preliminares que afectan al diseño estructural y arquitectónico, el cual nos viene a definir el tipo y procedimiento constructivo a seguir tanto en cimentación como en la subestructura. A continuación se dará una explicación general de los procesos cons

tructivos de los principales tipos de cimentación y subestructura de puentes,

2.2 CIMENTACIONES

1.- TIPO SUPERFICIAL.

A base de zapatas. Se realizan excavaciones a cielo abierto, y como su nombre lo indica, son aquellas en las que el material se extrae directamente, por el procedimiento que se juzgue conveniente para cada caso en particular, hasta llegar al nivel de desplante de la estructura, auxiliándose, en caso necesario, de bombas, a fin de abatir el nivel del agua.

Cuando las excavaciones no son profundas y los taludes del material tienden a la vertical y el bombeo es poco, es usual efectuar a mano la extracción del material de las partes más bajas. En estos casos es preciso traspalearlo con gente colocada a diferentes niveles; o bien auxiliándose de una pluma operada con un malacate, o inclusive utilizando un cable vía en dirección de la mayor dimensión de la excavación, mediante el cual el producto se eleva y se transporta fuera de la misma.

En excavaciones profundas y con escurrimientos de agua factibles de ser abatidos económicamente, se emplea equipo pesado.

Primeramente se dimensiona la excavación en función de su profundidad y de los taludes probables de los materiales a través de los cuales va a ser efectuada. Si es considerablemente profunda, se estiman para este efecto, las plataformas que sea necesario construir con sus respectivas rampas, para que el equipo de trabajo tenga acceso al fondo de la excavación. Con los datos así determinados, se trazan los ceros de la excavación.

El material superficial localizado arriba del nivel freático, se remueve, con un bulldozer, por ser esto lo más rápido.

do y económico. A continuación, una draga dotada de cucharón de arrastre, inicia su trabajo, vaciando de preferencia el producto del ataque en camiones de volteo, a fin de que éstos lo tiren fuera de los cerros de la excavación, tal como se ilustra en la FIG No. (1).

De lo contrario la draga misma tendría que efectuar una serie de traspaleos, tanto como para extraer el material de las partes más profundas, hasta niveles superiores, como para retirarlo del área de la excavación; lo que resulta lento y costoso. Véase FIG. (2).

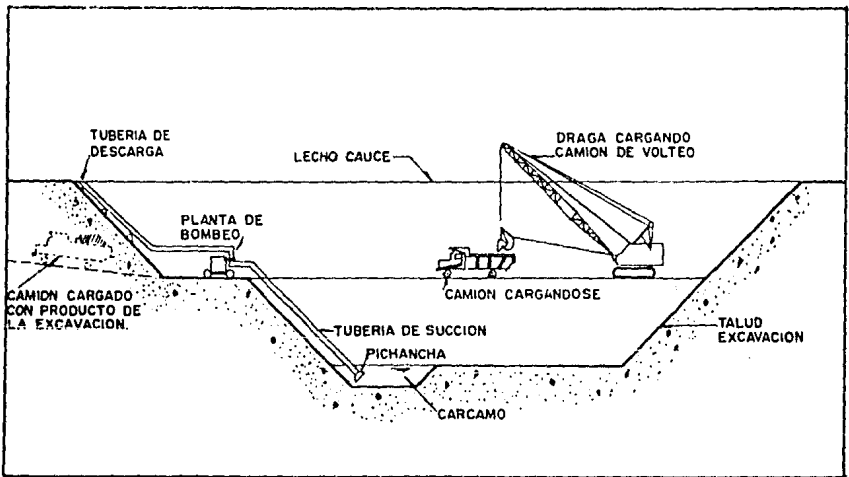
Por las limitaciones propias del equipo de bombeo, se precisa ir bajándolo al interior de la excavación, y por lo tanto, en la etapa más difícil de la misma, éste equipo estará situado abajo del nivel freático; por lo cual debe contarse necesariamente con suficientes unidades de reserva, que garanticen poder sostener el bombeo cuando uno o varias unidades lleguen a fallar. De lo contrario pueden quedar atrapados dentro del agua.

Todos estos factores descritos, han restringido el empleo de las cimentaciones por superficie, no obstante ser un sistema ideal, pues el material de desplante puede inspeccionarse en el lugar.

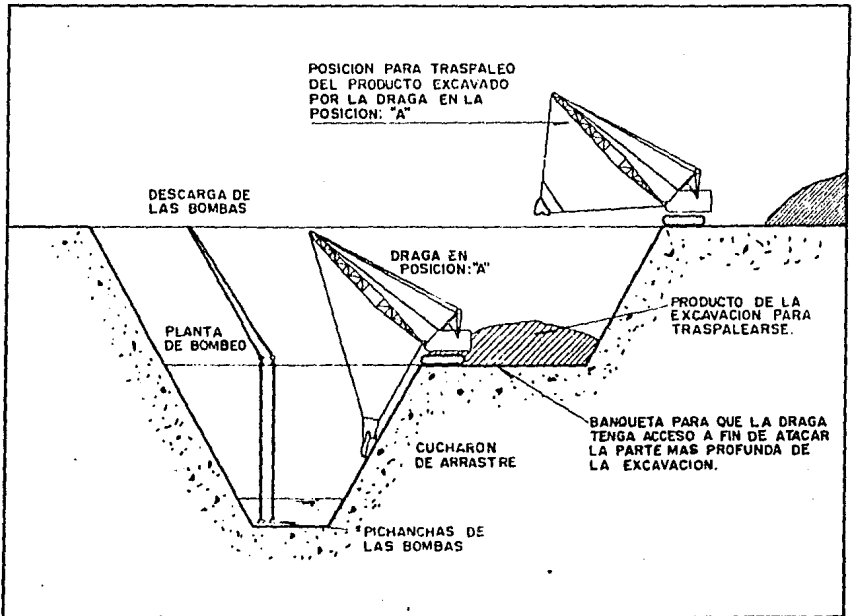
Una vez que se tiene la excavación hasta el nivel de desplante se cuela una plantilla de concreto pobre con la finalidad de evitar la alteración del suelo y el contacto de este con las varillas de refuerzo. Posteriormente se procede al armado del acero de la zapata, de las cuales se dejan preparativos para el desplante de la subestructura. Concluida esta se continúa con la colocación de los moldes para el cimbrado, asegurándose siempre de que se dejen los recubrimientos especificados en el diseño.

Por lo general el colado se realiza con concreto premezclado y para su colocación se utilizan bombas de concreto para que sea lo más rápido posible , tratando de que la zapata -- sea lo más homogénea.

Posteriormente dependiendo de las especificaciones de proyecto se descimbra y se cura el concreto.



PROCEDIMIENTO DE EXCAVACIONES A CIELO ABIERTO CON RETIRO DIRECTO DEL PRODUCTO UTILIZANDO CAMIONES DE VOLTEO. (FIG. N° 1)



EXCAVACIONES A CIELO ABIERTO CON TRASPALEO (FIG N° 2)

2 TIPO PROFUNDO.

A) PILOTES PRECOLADOS

Este procedimiento consiste en hincar los pilotes en forma mecánica, mediante dos tipos de piloteadoras: fijas sobre rodillos y móviles sobre orugas, efectuándose las maniobras previas al hincado en la siguiente forma.

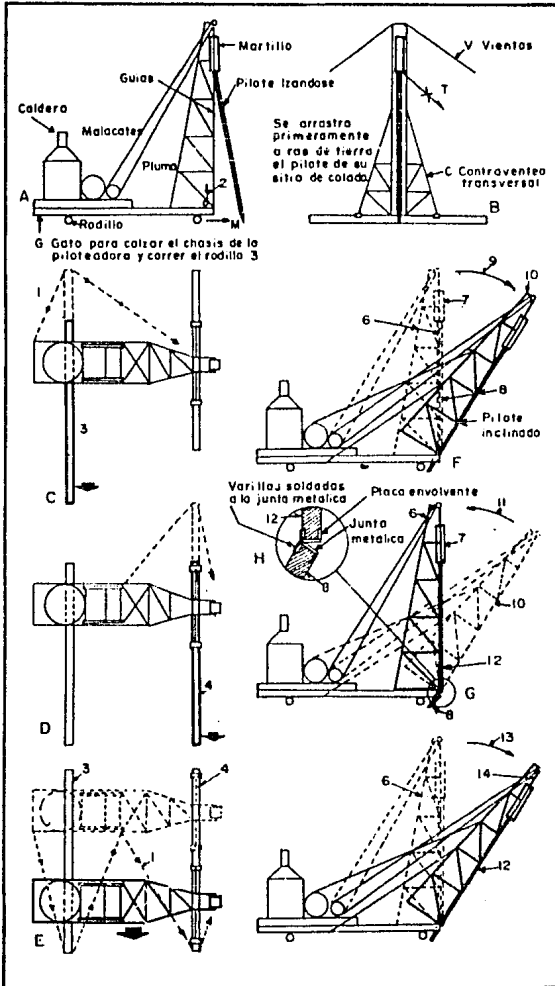
PILOTEADORAS FIJAS

Las operaciones necesarias que se ilustran en la (FIG. No. 3) para izar e hincar los pilotes verticales, no ofrecen en principio ningún problema especial, según se puede observar en los esquemas A y B, salvo que, en lo posible, deben evitarse tirones laterales como el indicado (T) en el esquema B, en cuyo caso deben instalarse los vientos (V), dado que las tornapuntas (C) pueden resultar insuficientes.

A fin de hincar los pilotes verticales, se iza primero el martillo y abajo de él se instala el pilote, que ya fue arrastrado de su sitio de colado al lugar de hincado, tal como se muestra en el esquema A.

Las figuras C, D y E junto con la A muestran el mecanismo de desplazamiento de la piloteadora, tanto lateral como de frente.

Para hincar pilotes inclinados se sigue frecuentemente la



MANIOBRAS USUALES CON PILOTEADORAS FIJAS. (FIG. N° 3)

secuencia indicada en las Figs. F, G, H. Primeramente el pilote (8) (FIG. F), se introduce dentro de las guías (6), bajo el martillo (7) y se desploma el conjunto en el sentido de la flecha (9) hasta ponerlo en la posición (10). Terminada de hincar la primera sección del pilote (si es de varias secciones), se instalan de nuevo las guías (10) en la posición indicada y siguiendo el sentido de la flecha (11), Fig. G, se coloca la segunda sección del pilote (12) bajo el martillo (7).

El detalle de la figura H muestra un ingenioso artificio: Se instala el pilote (12) sobre el (8) y se une con varillas soldadas de manera que pueda abatirse el pilote (12) según el sentido de la flecha (13), sin correrse de su base; una vez que el pilote (12) tiene la inclinación de las guías (14) (igual que la (10) de la FIG. F), se suelda la junta y se reanuda el hincado.

PILOTEADORAS MOVILES

Las piloteadoras sobre orugas son semejantes a las dragas y por lo mismo, fáciles de maniobrar en toda clase de terreno, ya que únicamente se hace preciso acondicionar rampas con pendientes no mayores de un 10%.

Cuando las piloteadoras carecen de suficiente estabilidad el manejo de los pilotes se efectúa con el martillo apoyado sobre el terreno; colocado el pilote en el lugar de hincado y contraventeado de manera que se sostenga independiente de la máquina, se iza el martillo y camina la máquina con el martillo izado a fin de colocarlo sobre el pilote quedando éste en consecuencia dentro de las guías de la piloteadora.

En caso de que la máquina sea suficientemente estable (para lo cual se le adoptan contrapesos), se arrastra primero el pilote, se iza el martillo y se instala dentro de las guías y bajo éste, el pilote por incarse permaneciendo en el mismo si-

tio durante estos trabajos, estando las guías en dirección de los ejes de hincado.

El hincado de los pilotes inclinados con este tipo de máquinas se simplifica considerablemente, como puede observarse en la (FIG. No. 4), se desconectarán primeramente los elementos estructurales que sujetan las guías a la máquina y estando el martillo sobre el pilote, se fijan este y las guías con cables de acero, anclados a muertos. Se camina la máquina hacia atrás hasta lograr la inclinación deseada, soltando a la vez las retenidas del pilote y de las guías para permitir el desplome requerido.

B) PILAS COLADAS EN EL LUGAR:

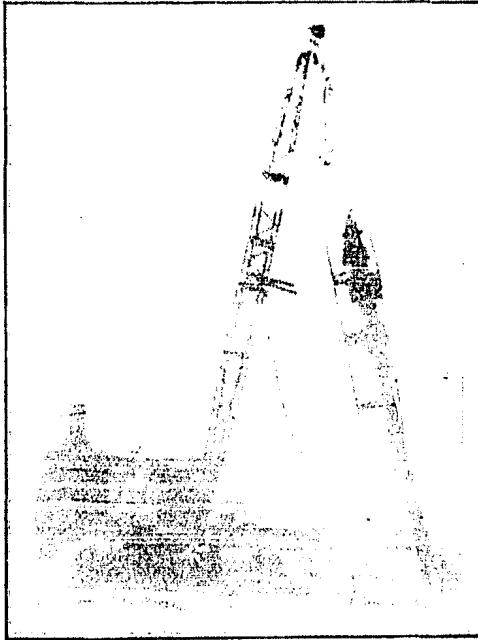
Debe entenderse que las pilas, cuya dimensión transversal mínima es de 0.6 m., siempre se fabrica a base de concreto colado en el lugar, usando como cimbra el barreno previamente excavado en el suelo o en condiciones excepcionales con un ademe metálico.

Su procedimiento constructivo implica:

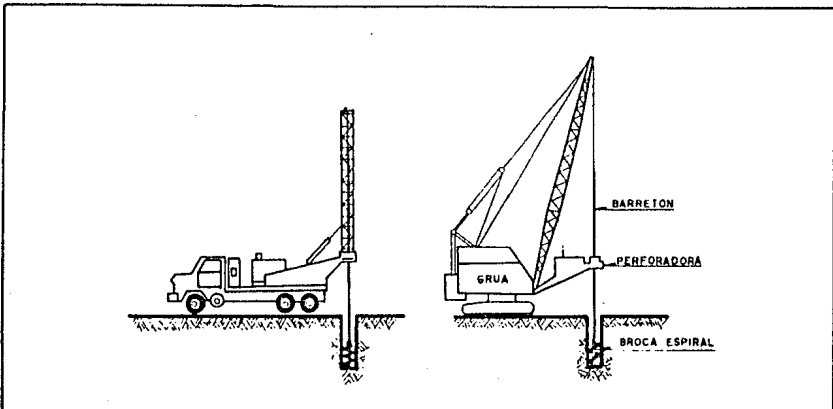
- a) Formar por excavación o perforación un cilindro vertical que sea estable, (por si mismo o con ayuda de ademe o de lodos).
- b) Armar el Acero de refuerzo para introducirlo dentro de la perforación, garantizando el recubrimiento especificado.
- c) Colar el concreto en el barreno en seco, cuando no hay filtraciones o en lodo mediante el sistema trémie.

Una grúa fija o móvil de pluma rígida (de 45 a 80 Ton. - de capacidad nominal), opera el equipo de perforación. (FIG. No. 5).

Los rotatorios basan su operación en la transmisión de un par motriz a una barra (KELLY) en cuyo extremo inferior se



(FIG. No. 4) PILOTEADORA MOVIL HINCANDO UN PILOTE INCLINADO CON MARTILLO.



PERFORADORA MONTADA SOBRE CAMION.

PERFORADORA MONTADA SOBRE GRUA.

(FIG. N° 5)

encuentra un dispositivo cortador que penetra en el terreno a base de rotación,

Estos equipos pueden ser brocas espirales cilíndricas o cónicas, estando formadas por una hélice colocada alrededor de una barra central; los elementos de corte están constituidos por dientes o cuchillas de acero de alta resistencia.

Las espirales oblicuas se emplean preferentemente en suelos cohesivos que se encuentran arriba del nivel freático, de manera que sea posible la extracción del material perforado.

En cambio las brocas espirales cónicas, son útiles en suelos duros o con presencia de bolcos.

Los botes cortadores, son cilindros con una tapa articulada en su base. En esta tapa se localizan los elementos de corte, además de unas trampas que permiten la entrada del material cortado pero que impiden su salida. Se emplean tanto en suelos cohesivos como en los no cohesivos aún abajo del nivel freático.

En ocasiones cuando es necesario ampliar su sección al nivel de desplante, se les acondiciona un dispositivo formado por uno o dos alerones cortadores que van sobresaliendo del bote a medida que van cortando el fondo de la perforación formando así la campana o ampliación de base.

Cuando es necesario romper rocas o bolcos o para empotrar las pilas se emplea el trepano que en sí es un pesado cincel que trabaja por impacto.

También se pueden excavar pilas de sección oblonga, mediante almejas hidráulicas guiadas (FIG. No. 6), bien introduciendo en el suelo una tubería mediante los vibrohincadores, cuya acción dinámica proviene de un generador de vibraciones.

a base de contrapesos excéntricos de rotación contraria, operados con motores eléctricos o hidráulicos, respectivamente.

Para su extracción se aplica hacia arriba el tiro de la grúa a la vez que se tiene en funcionamiento el martillo vibratorio.

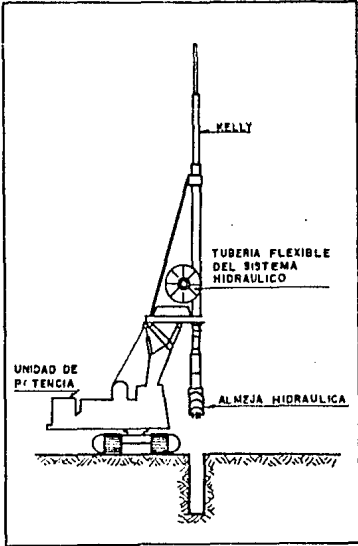
También puede hincarse el ademe metálico mediante un martillo golpeador.

LODO BENTONITICO.

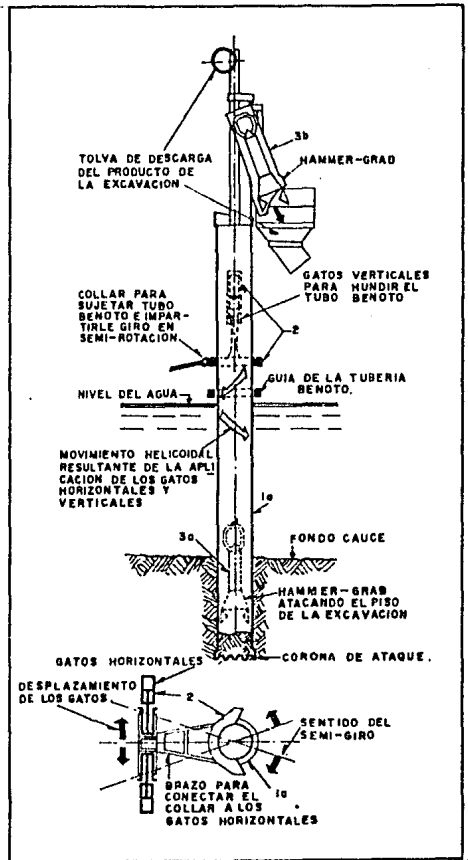
Se denomina así a una mezcla de agua con arcilla coloidal, generalmente bentonita, la cual estabiliza las paredes de la perforación formando una película plástica e impermeable producida por el depósito de las partículas sólidas del lodo al filtrarse éste en las paredes de la perforación. Esta película llamada también enjarre o costra (cake), permite que se desarrollen las presiones hidrostáticas del propio lodo contra las paredes de la perforación buscando así su estabilización, a la vez impide la pérdida excesiva del agua del mismo lodo y por supuesto el paso del agua hacia el interior de la perforación, lo cual es una de las causas de inestabilidad de las paredes.

El lodo estabilizador debe sustituir progresivamente el material extraído de la perforación teniendo especial cuidado de mantener el nivel de aquél muy cercano al brocal, para garantizar que aplique la máxima carga hidrostática sobre las paredes.

En algunos casos de gran inestabilidad, se acostumbra ademorar la parte superior de la perforación dejando que el lodo bentonítico llene el resto.



ALMEJA HIDRAULICA GUIADA
(FIG. N° 6)



SISTEMA DE PERFORACION
(FIG. N° 7)

B.1) PROCEDIMIENTO DE PERFORACION Y COLADO DE PILOTES "IN - SITU" CON EL SISTEMA BENOTO CON TREMIE.

La máquina benoto de 8.6 m., de longitud, 3.6 m., de ancho y 36 Ton. de peso, está provista de una torre guía, malacates, dispositivo de ataque, y un complejo sistema de gatos que le permiten trasladarse horizontalmente en todos los sentidos. Dos de éstos gatos imparten un movimiento de semi-rotación al tubo benoto, y otros dos una fuerza vertical, simultánea al giro indicado, lo que en principio equivale a incorporar un peso tal a la tubería, que puede considerarse como un cilindro de cimentación de diámetro reducido.

Los gatos y su acción están esquematizados en la (FIG. - No. 7); la capacidad de los horizontales es de 16 Ton. y de 20 la correspondiente a los gatos verticales.

Según experiencias de la casa Benoto, la generación de estos 2 movimientos encontrados rompe la fricción y la adherencia del suelo, facilitando la introducción de la tubería, así como su rescate, el cual se efectúa operando los gatos verticales en sentido inverso, conjuntamente con el movimiento de vaivén de los gatos horizontales.

Para hacer objetivo el principio antes expuesto, cabe decir que durante el colado del pilote, cuando la tubería tiene en su interior concreto fresco, y se aplica al tubo únicamente el movimiento de semi-rotación, el concreto se mueve en igual sentido, pero tan pronto como se genera el movimiento vertical el concreto se inmoviliza como resultado del movimiento helicoidal (Principio fundamental del trabajo de la máquina), por anular este, o reducir al mínimo la adherencia entre tubo, suelo y concreto.

Durante la excavación, además de actuar el sistema de gatos descrito, dentro del tubo, cuyo diámetro interior es de 1 m., un dispositivo denominado Hammer-Grab, de 0.04 m³. de -

capacidad y semejante en su trabajo a un cucharón de concha de almeja, extrae material del interior, con lo cual baja la tubería que, entonces, trabaja propiamente como ademe. Las propiedades del suelo no se alteran con este sistema de trabajo.

Cuando se perfora en material suave, la corona de ataque de la tubería va abajo del nivel de la perforación, en materiales duros como la caliza, dispositivos especiales para tal objetivo, como el trepano, van adelante de la perforación, recorriendo o fracturando el suelo, y permitiendo con éllo que la tubería baje. El Hammer-Grab complementa el trabajo del trepano, retirando el producto del ataque.

Terminada la perforación; se introduce en el tubo benotado el acero de refuerzo y a continuación, entre la tubería y el acero se instala un tubo molde de 96 cm. de \emptyset exterior y de 3/16" de espesor, en secciones de 6 m. soldadas en el lugar, tal como se muestra en la (FIG. No. 8). Este tubo se conecta al que ya ha sido colocado, y se suelda perimetralmente, mediante el traslape de la solera de que está dotado el borde superior de cada tramo que se introduce en el tubo benotado.

El tubo molde se recibe, durante esta operación, con un cincho o abrazadera, tal como se observa en la Fig. de referencia.

El borde inferior de este tubo llega hasta 18 m. más o menos, arriba del fondo de la perforación, cuyo piso será el desplante del propio pilote. Esos 18 m. corresponden al tramo del pilote que se colará directamente en el terreno como se indica en el procedimiento, de colado que se expondrá posteriormente.

Lográndose con ésto una alta capacidad de trabajo por fricción, que se suma a la obtenida por apoyo directo. Es indispensable introducir este tubo molde, no recuperable, a fin

de poder construir el pilote, tanto en la parte floja o pantanosa del cauce, como en el tramo que libra el tirante del río, y por lo mismo, el borde del tubo molde sobresale del nivel del agua.

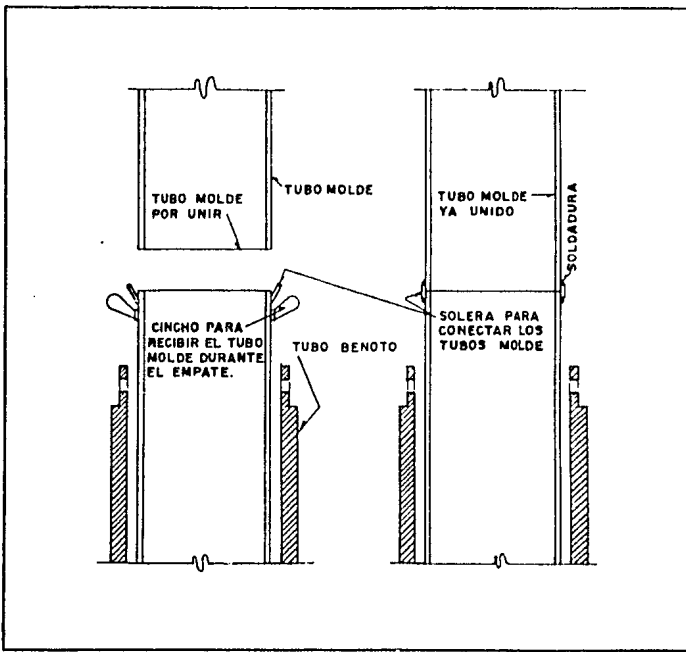
Los tubos de perforación benoto son cargados con una grúa hasta un pontón, arrastrando después por un remolcador al lugar donde se encuentra la máquina benoto, a fin de instalarlos dentro de las guías de ésta,

El tramo de tubo que se muestra en la (FIG. No. 9) corresponde al que primeramente se introduce en el suelo para perforar, por lo que dispone, en uno de sus extremos, de una corona desmontable de ataque, en el otro se empata a otro tramo de tubo benoto con el sistema de macho y hembra, por medio de unos cerrojos de expansión, que se muestran en la (FIG. No. 10).

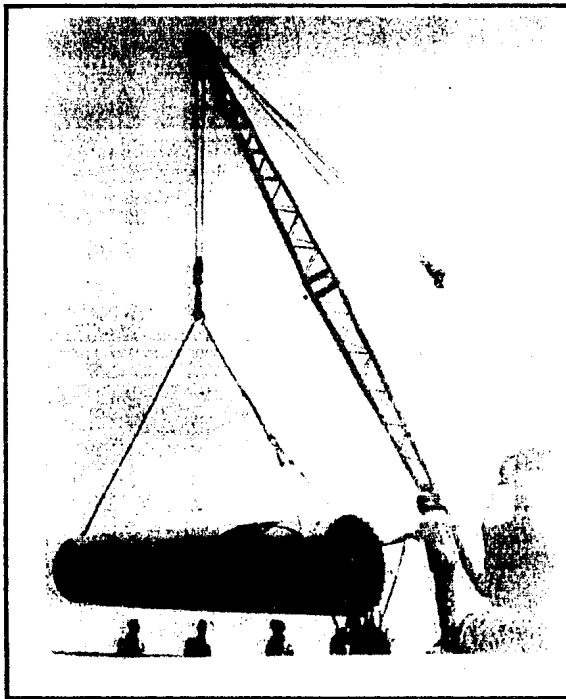
Igual procedimiento se sigue en los demás empates de la tubería benoto. Los cerrojos disponen de un chasis con dientes flexibles, al introducirse la tuerca cónica, cuando se aprieta el tornillo, se abren dichos dientes, ajustándose al agujero cónico de la pared de la tubería, con lo que queda empataada rígidamente, lográndose con ello que la tubería presente la continuidad necesaria para el trabajo.

Los tubos se van introduciendo, uno tras otro, hasta llegar al fondo del cauce, donde empezará la perforación para el pilote por construir, a medida que avanza la tubería bajo la acción de las fuerzas aplicadas, se le añaden nuevos tramos.

La máquina benoto se ancla con una estructura propia, -- que consta de 4 torres y cada una de un zanco tubular, un bastidor y 2 gatos simples de 100 Ton.



INTRODUCCION DEL
TUBO MOLDE
(FIG. N° 8)



(FIG. No. 9) PRIMER TUBO DE PERFORACION BE-
NOTO QUE SE INTRODUCE AL SUELO.

Esto permite que la máquina pueda operar algunas manio---
bras fuera del chalan transitando sobre otra estructura.

Primeramente y con el sistema descrito en la (FIG. No. 8) se introduce y soporta el tubo molde; hecho lo cual, y tal como se indica en la (FIG. No. 11), queda dispuesto el pilote antes de su colado, en las condiciones siguientes:

El fierro de refuerzo, marcado con (3), se deja caer hasta el fondo de la excavación (8), donde queda descansando por superficie y fricción. Debido a su peso propio y al impacto, se introduce unos 25 cm. en el fondo de dicha excavación.

Mediante las placas (4), se suelda el tubo molde (2), al fierro de refuerzo (3), quedando como una sola unidad, dentro del tubo benoto (1), con este procedimiento, el tubo benoto deja de soportar el tubo molde.

En las Figs. B, C, D, E y F, de la (FIG. No. 11) a la cual se refiere la siguiente descripción, no se dibuja el fierro de refuerzo por razones de claridad.

Para efectos de colado, se introduce primero en el tubo benoto la tubería (7), de 6" de diámetro interior, dentro del cual bajará el concreto.

Esta tubería se va introduciendo en tramos de 2.5m. suspendiéndola del dispositivo (6), siendo sucesivamente recibidos, durante esta operación, por la mordaza (5); los tramos de la tubería van unidos con rosca. El dispositivo (6) está dotado de giro propio, para poder retirarlo sin hacer girar la tubería (7) ni el cable (9).

Cuando la tubería llega al fondo de la excavación, se conecta en el extremo superior un embudo (10), para recibir el concreto (11), que proviene de una artesa (12), y se viene

al embudo mediante la trompa de elefante (13).

El concreto queda retenido en el embudo mediante un tapón (14) formado por una pelota de hule. Cuando se ha almacenado suficiente cantidad de concreto, mediante una barra se obliga a que el tapón descienda dentro de la tubería de colado, desalojando el empuje del concreto el agua que ahí se encuentra.

En esta etapa C y en las siguientes, el agua dentro del tubo benoto sube de nivel, ya que no tiene salida.

Como se indica en las figuras B, C, D y E, la tubería de colado sube y baja más o menos 2.00 m. en forma vigorosa, varias veces, mediante los tirantes (15) y el cable (9), a fin de que el concreto vertido dentro de la misma, fluya hacia abajo y desaloje hacia arriba el concreto depositado anteriormente, sin que la parte inferior de esta tubería llegue a salir de la masa de concreto condición indispensable para lograr la debida continuidad de colado.

La capa superficial del concreto así desalojado, será retirada posteriormente por su evidente mala calidad.

Cuando el concreto como se muestra en la Fig. E, tiene una altura de 10 m. aprox., con respecto a la excavación, se retira el tubo (10), y se extraen 2 tramos de 2.50 m. de la tubería de colado para reducirle longitud con objeto de disminuir fricciones con el concreto pues, en caso de haberlas, harían que la tubería quedase atrapada. Hecho lo anterior, se deja suelta la tubería de colado, quedando apoyada por superficie y

fricción dentro del concreto, durante la operación de extracción de la tubería benoto.

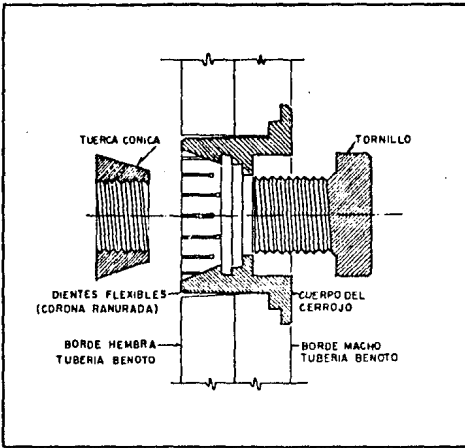
El borde superior de la tubería de colado se deja, en estas condiciones, aproximadamente al nivel del borde superior de la tubería benoto, para que no obstruya la extracción de un tramo de 6 m. de ella, quedando con ello el pilote, como se muestra en la FIG. F, prácticamente en contacto directo con el terreno, la extracción de la tubería benoto se lleva a cabo haciéndola girar en semi-rotación, y aplicando hacia arriba la fuerza de los gatos hidráulicos.

El nivel superior del concreto baja, después de esta operación, aproximadamente 70 cm., como consecuencia de que la sección de pilote sin tubo benoto, o sea el vaciado dentro del terreno natural, tiene mayor diámetro que la propia tubería.

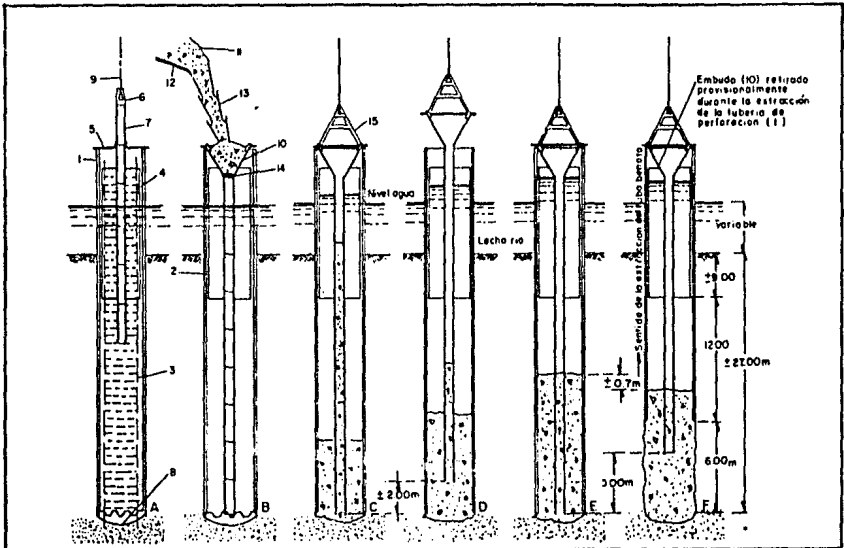
La velocidad de colado debe ser suficientemente rápida (4 m³/hr), para que la alimentación del concreto, con revenimiento del orden de los 15 cm. y agregado grueso de 3/4", permita hacer todas las operaciones antes descritas en el menor tiempo posible, pues, de lo contrario, el concreto va fraguando y endureciéndose, lo que impediría la recuperación de ambas tuberías.

Este mismo sistema de colado se aplica en la actualidad a las pilas construidas sin tubo de perforación, sino con broca Crawl o broca Williams estabilizando la excavación con lodo bentonítico.

En este caso se inyecta a la tubería de colado el concreto proveniente de una bomba, con lo cual no se hace necesario subir y bajar la tubería de colado, como en el caso primeramente expuesto en el que el concreto se vacía simplemente en la tolva.



CERROJO DE EXPANSION PARA EMPATAR LA TUBERIA BENOTO. (FIG. N° 10)



PROCEDIMIENTO DE COLADO DE PILOTES "IN SITU" TIPO BENOTO CON TREMIE. (FIG N° 11)

B. 2) PILOTES AUGERCAST

Los pilotes colados con taladro se fabrican haciendo girar un taladro helicoidal continuo del diámetro requerido con eje hueco, que realiza la perforación hasta la profundidad especificada, enseguida se bombea a través del eje un mortero de alta resistencia, sirviendo de molde y para conservar el confinamiento del hueco formado por el taladro. El mortero se dosifica de tal modo que no vaya a presentar contracciones y por la presión a la que está sujeto desplaza el agua o material suelto, compactando el subsuelo y llenando todos los poros y huecos que haya.

3) CILINDROS Y CAJONES.

CIMENTACION CON CILINDROS Y CAJONES.

Este sistema de cimentación, en el que se emplean cilindros de concreto reforzado de pared gruesa, está basado en los llamados pozos indios, procedimiento muy antiguo, ideado para la construcción de pozos de agua, y que aún se emplea en la actualidad.

Sobre la superficie donde se va a cimentar el apoyo se nivela una plataforma de trabajo, y en ella se instala una cuchilla cortadora de acero estructural, la cual constituye el borde de ataque. Ver (FIG. No. 12), dentro de la cuchilla se arma el fierro de refuerzo del cilindro, continuando el armado según progresa la construcción del cilindro; y una vez colocados los forros de madera o acero que moldean la superficie, interior y exterior del cilindro, se procede a su colado.

Ya endurecido el concreto el cucharón de almeja de la draga excava en el interior del cilindro que se hunde por su peso y la falta de apoyo; cuando el borde superior de la sección colada se encuentra prácticamente al nivel del terreno se cons--

truye un nuevo tramo, y se continúa con tal proceso hasta que dicho cilindro, llegue a la profundidad prevista para su cimentación, de acuerdo con las consideraciones técnicas al respecto.

El primer tramo del cilindro presenta una sección tronco cónica en su interior para alojar posteriormente al terminarse el hincado una losa, denominada tapón inferior, y que no requiere refuerzo debido a su gran peralte y poco claro.

Como generalmente hay agua en el interior de los cilindros aún en cauces aparentemente secos, por la presencia de corrientes subterráneas, se precisa colar dicha losa bajo agua.

Para esta delicada operación se aplica el sistema de colado trémie, que se expuso ampliamente en párrafos anteriores. Cuando por sondeos y control de revolturas, se deduce que el nivel del concreto ha llegado al borde superior del tapón, se suspende el colado excepto cuando, por indicaciones de proyecto o por desperfectos que haya sufrido el cilindro durante su hincado, sea necesario continuar con el colado hasta un nivel superior. Por lo regular el nivel del concreto se deja arriba del borde del tapón inferior en un espesor tal que corresponde al concreto contaminado con el agua y por consiguiente defectuoso.

Las fracturas en los cilindros pueden ser ocasionadas por el empleo de explosivos, en el fondo de la excavación, ya que el efecto de éstos desaloja el agua hacia arriba, y al recuperar su nivel se produce un efecto de golpe de ariete.

Después de colado el tapón inferior y una vez, que el concreto ha adquirido suficiente resistencia, se efectúa su inspección, para lo cual se extrae el agua del interior del cilindro, con una bomba de pozo profundo o un bote de colado con u-

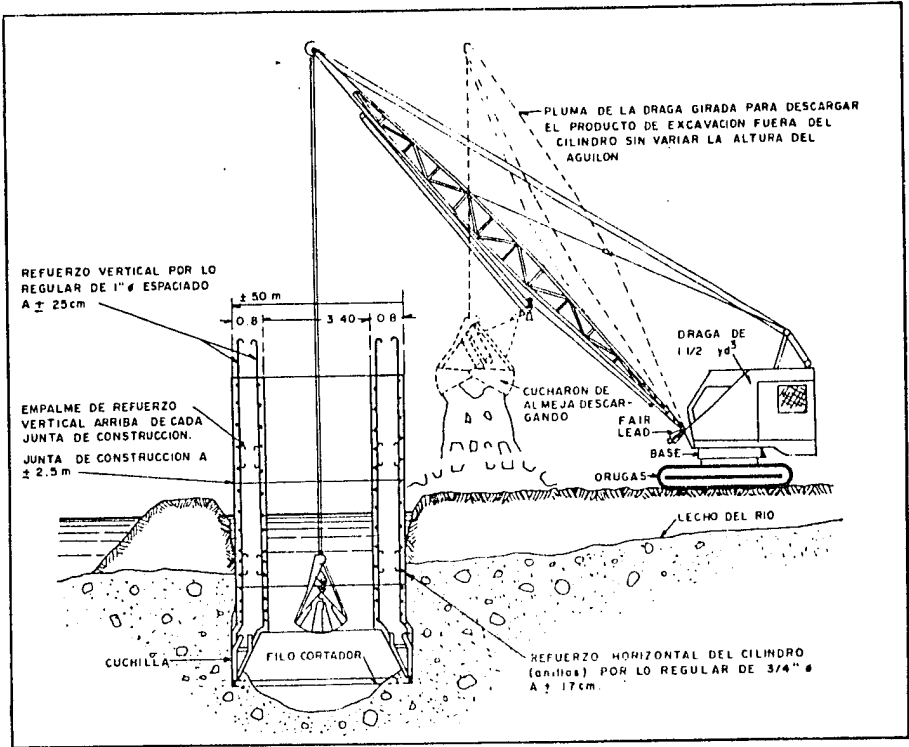
na válvula para admisión y expulsión del agua,

Como durante el colado se lava parcialmente el concreto, el agua se enturbia y al decantarse, el cemento se precipita formando una gruesa capa sobre el concreto vaciado, la cual es preciso retirar para fines de inspección.

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. Si la infraestructura del apoyo la integran dos o más cilindros, el tapón superior los conectará.

Como este tapón se cuela generalmente abajo del nivel de aguas mínimas, por razones de estética, el cuerpo del cilindro se prolonga en una longitud igual al peralte del tapón superior con un espesor de 20 cm., a manera de ademe.

Para evitar el empleo de una obra falsa suspendida no recuperable, en la construcción del tapón superior, es usual rellenar el interior del cilindro con arena u otro material mediante una draga.



(FIGS N° 12)



HINCADO CONVENCIONAL DE CILIN -
DROS, SIN PERDER FORROS, POR E-
FECTUARSE EN UN CAUCE SIN AGUAS
PERMANENTES.

EN LA FOTOGRAFIA APARECE EL CU-
CHARON DE CONCHA DE ALMEJA.

2.3 SUB-ESTRUCTURA.

En este subtema nos referimos a los procesos constructivos más utilizados en sub estructuras para puentes. Estos podrían ser:

1) PROCEDIMIENTO TRADICIONAL U ORDINARIO:

Este puede ser por medio de paneles, cimbra de madera fija o andamiaje tubular, lo cual resulta un procedimiento obsoleto, pues las formas deben removerse, levantarse y ajustarse en cada colado de concreto (FIG. No. 13).

2) PILAS CONSTRUIDAS CON CIMBRA DESLIZANTE.

El uso de cimbras de movimiento continuo que es un método económico aplicable a la construcción de estructuras altas de concreto reforzado, las cuales tengan más o menos la misma forma de planta a través de su altura.

Empleando cimbra deslizante, el sistema generalmente de 1 - 1.50., se construye en el suelo formando el cimbrado para las caras internas y externas de las paredes del cuerpo de la pila, a medida que el concreto se deposita, la cimbra se levanta continuamente en forma lenta por medio de gatos hidráulicos hasta alcanzar el límite superior de la estructura.

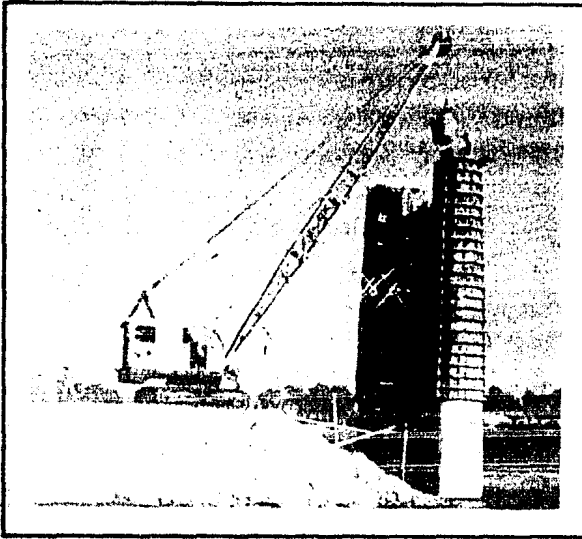
Operación de los gatos: Los gatos generalmente se apoyan en barras de acero desde la cimentación o en partes de elementos estructurales que ya hayan sido colados, previamente deben fijarse a marcos de madera o metálicos a los que a su vez se sujetan las cimbras que comprenden nervaduras horizontales a las cuales se fijan paneles verticales o placas de lámina. La cubierta para la plataforma de trabajo se localiza en la parte superior de la cimbra, desde la cual se coloca el concreto, se distribuye y arma el acero de refuerzo y se operan los gatos. En dicha plataforma deben colocarse el control del nivel, para garantizar un desplazamiento vertical uniforme del sistema, ver (FIG. No. 14).

Los factores esenciales de este sistema son:

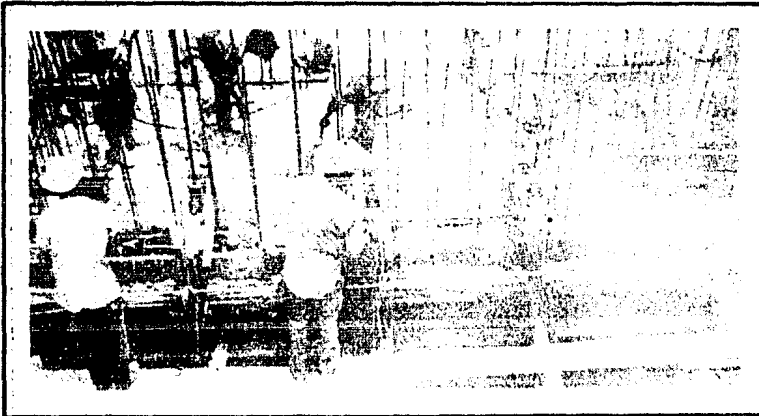
a) Todas las partes del cimbrado deben moverse verticalmente a la misma velocidad y ninguna sección deberá presentar problemas de rose o de armado.

b) La cimbra debe fabricarse cuidadosamente, puesto que la deformación de una zona puede entorpecer el trabajo hasta que la parte defectuosa sea reparada.

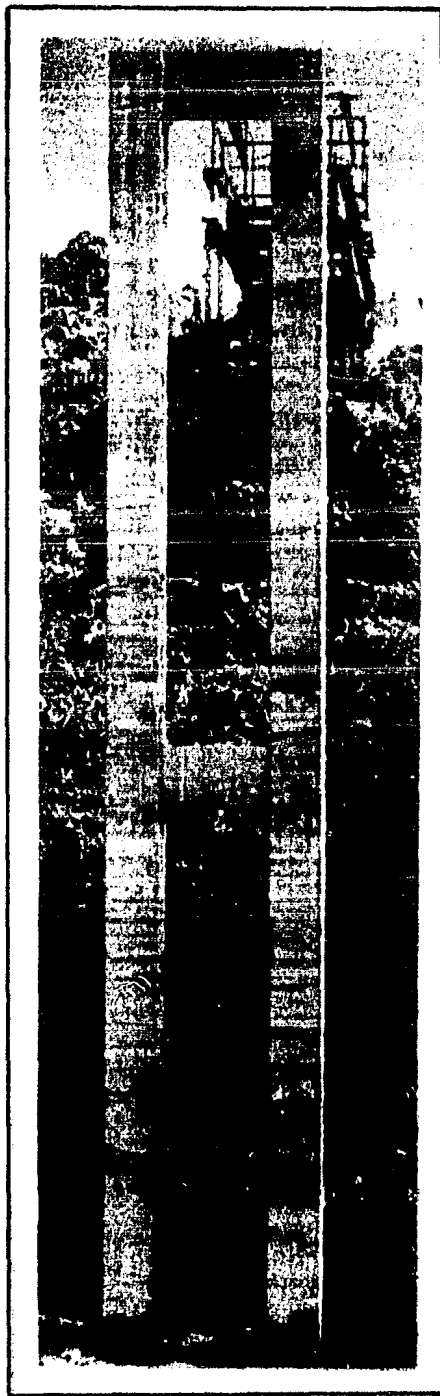
c) Debe contarse con soportes laterales con atiesadores



(FIG. No. 13)



(FIG. No. 14) DISPOSICION DE LOS GATOS DE IZADO CON RESPECTO A LAS PAREDES DE LA PILA ; ENTRE ESTAS SE INSTALA UNA PLATAFORMA DE TRABAJO.



(CONT. FIG. No. 14)

PILA DE 106 m DE ALTU-
RA TERMINADA.

suficientes, mediante elementos diagonales, y el espesor de las paredes deberá tener un mínimo de 15 cm , el concreto debe depositarse en capas de 20 cm de altura en cada colado a fin de mantener el nivel de concreto fresco a través de la cimbra.

d) La fricción de las paredes es grande, especialmente - durante el primer día de uso de la cimbra, originada por una película de cemento fraguado que se adhiere a las paredes interiores.

CAPITULO III

SISTEMA TRADICIONAL

3.1 SUPERESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO

Las superestructuras construidas utilizando el sistema tradicional de cimbras de madera o metálicas, generalmente son puentes de superestructura de concreto reforzado.

En el diseño de superestructuras de concreto reforzado, se ha aplicado toda una gama de soluciones que van desde las losas planas, hasta las estructuras continuas, en donde se han librado claros hasta de 58m. empleando una sección de doble cajón de peralte variable de 4.5m a 1.5m., en algunas se han diseñado superestructuras continuas en curva con sección cajón, y claros de -- 46 m.

Puede decirse que existen en nuestro país un mayor número de puentes de concreto reforzado continuos y de tipo gerber, que de concreto presforzado, con claros no muy largos, de 30 a 60m; - dimensiones que son competitivos con los últimos, dado que la - continuidad dentro de este rango, no resulta económica en las es - tructuras presforzadas continuas, cuyos claros varían de 70 a -- 100m., para nuestro medio aunque a nivel mundial se han librado - claros de 240m.

En claros cortos simplemente apoyados, de 10 a 20m., igualmente resultan más económicos que los presforzados.

En lo referente al comportamiento de los puentes de concreto reforzado en los que se ha empleado acero de 4000 kg/cm^2 en - igualdad de peralte y claro, el área de acero resulta menor en - proporción, que empleando acero ordinario, ya que en éste al -- distribuirlo en más capas, se desplaza su centro de gravedad, - disminuyendo el par resistente.

Las estructuras de concreto reforzado, se agrietan bajo -- las cargas de servicio, inclusive por el peso propio de las mis - mas a fin de que el acero tome los esfuerzos de tensión, siendo mayor el agrietamiento en aquellas donde se emplean aceros de -

más elevado límite elástico así como en las de mayor peralte, y por consiguiente tienen menos duración.

El emplear en estas estructuras 2 nervaduras, en lugar de 3 ó 4, permite reducir la carga muerta, factor que en claros -- grandes limita la solución de trabes simplemente apoyadas, sin embargo el espacio vertical obligado, y el gran peralte de estas trabes, pueden dar lugar a una razante no aceptable. En -- grandes anchos de calzada, el efecto de la torsion limita en -- parte el empleo económico de dos nervaduras.

Actualmente, para las nervaduras de concreto, se aportan -- secciones trapezoidales, con el lado menor en el lecho inferior del patín, y aunque es menos eficiente estructuralmente que -- la de tipo bulbo, su simplicidad constructiva y la facilidad de su descimbrado, compensa el mayor volúmen de concreto.

El refuerzo colocado longitudinalmente en las paredes de -- las nervaduras, está destinado a absorber los esfuerzos de temperatura, ya que causa grietas en las trabes sin continuar por -- debajo del patín.

La contraflecha de las trabes, se proyecta considerando -- que una estructura de este tipo, estará sujeta a 2 deformaciones: La instantánea que se produce al descimbrar, causada por -- el peso propio de la estructura y la diferida debido al flujo -- plástico del concreto en el transcurso del tiempo.

3.2 OBRAS FALSAS.

Las obras falsas que se emplean en su construcción, son de una gran variedad, y su aplicación está en función de las condi ciones particulares de cada caso.

Cuando se construye en cauces temporalmente secos, en época de estiaje, o bien en viaductos, se puede optar por algunas de las soluciones siguientes:

- a) Andamiaje tubular o de madera.
- b) Caballetes de madera o metálicos debidamente contraventados sobre los que apoyan viguetas de acero o de madera. La capacidad de trabajo de estos elementos, determina la separación de los caballetes, los cuales se desplantan sobre una gualdra que distribuye su carga en rastras que vuelan a uno y otro lado de ésta; de manera que la superficie de distribución, transmita a la de apoyos, previamente compactada, una fatiga unitaria de acuerdo con su capacidad de soporte. (FIG. No. 1 y No. 2).

3.3 PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCION

Como el costo inicial de las obras falsas de acero es mayor que el de las obras falsas de madera, su uso se recomienda cuando puedan utilizarse un número suficiente de veces para que sean económicas.

Los elementos principales de las obras falsas de acero están formados por traveses alma llena con longitudes modulares para permitir su aplicación a la construcción de claros de 6 a 40 m., -- con altura hasta de 11.5 m., medida al lecho inferior de la superestructura.

Todos los elementos de las obras falsas de acero, que pueden usarse como traveses y como pies derechos, se unen por medio de pernos de acero estructural.

Los pies derechos se apoyan sobre zapatas de madera cuyas dimensiones estarán de acuerdo con la resistencia estimada para el terreno de cimentación. Las zapatas de madera pueden sustituirse por pedestales de mampostería o de concreto simple.

Tanto el contraventeo longitudinal como el transversal se deberá colocar a medida que avance la erección de los caballetes de la obra falsa.

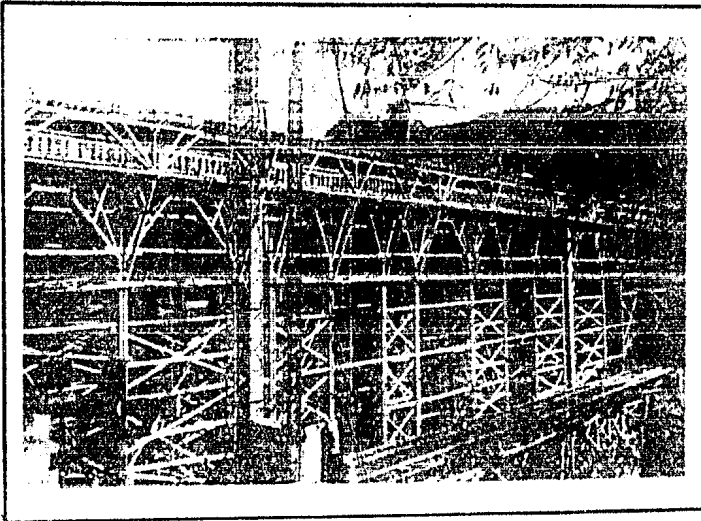
Con el objeto de obtener las contraflechas debidas en la estructura, se deberá tener en cuenta los posibles asentamientos del terreno, los acortamientos de los pies derechos y los acomodamientos verticales en las uniones.

Para los pies derechos de madera se estima un acortamiento de 0.5 mm por cada metro de altura del poste y un acomodamiento vertical de 1 a 2 mm aproximadamente en cada unión.

Para la palicación de la obra falsa a un puente en particular deberá hacerse la adaptación correspondiente del proyecto, determinando el número de piezas de cada tipo que de emplearse así como su disposición y colocación. y una vez armada la obra falsa se va colando la losa, (Fig. No. 3).

Es usual colar losas de concreto en lugar de las rastras de un espesor tal que no se fracturen bajo las cargas producidas por los pies derechos, que sientan sobre una viga de igual longitud que la losa colada sobre el terreno natural. Se puede optar por erigir largueros principales a medio claro debajo de sendas nervaduras, constituidos por elementos enchufables (para facilidad de montaje y desmantelamiento), debidamente contraventeados, eliminando así, considerable número de caballetes.

Cuando se construyen superestructuras en cauces de agua permanentes, o en épocas de lluvias, es usual emplear estructuras tipo Bailey, constituidas por tableros que se acomodan -

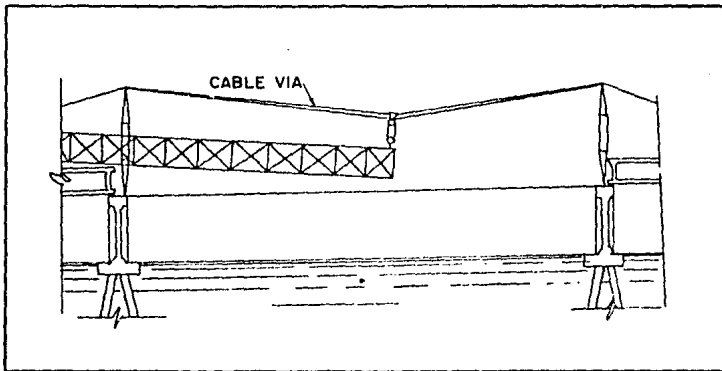


(FIG. No. 3) DEPENDIENDO DE LAS CARACTERISTICAS DE LA OBRA SE PUEDEN TENER DIFERENTES FORMAS DE OBRA -- FALSA.

entre sí y que se ajustan por consiguiente a diferentes claros.

Estas armaduras se montan como se observa el grabado de -
la (Fig. No. 4) y por lo regular de acuerdo con uno de los -
siguientes sistemas:

- a) Por lanzamiento con el auxilio de un cable vía.
- b) Izándolas completas de un chalán, mediante malacates y plu-
mas.



SISTEMA DE LANZAMIENTO

(FIG. N° 4)

3.4 ARCOS DE CONCRETO PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

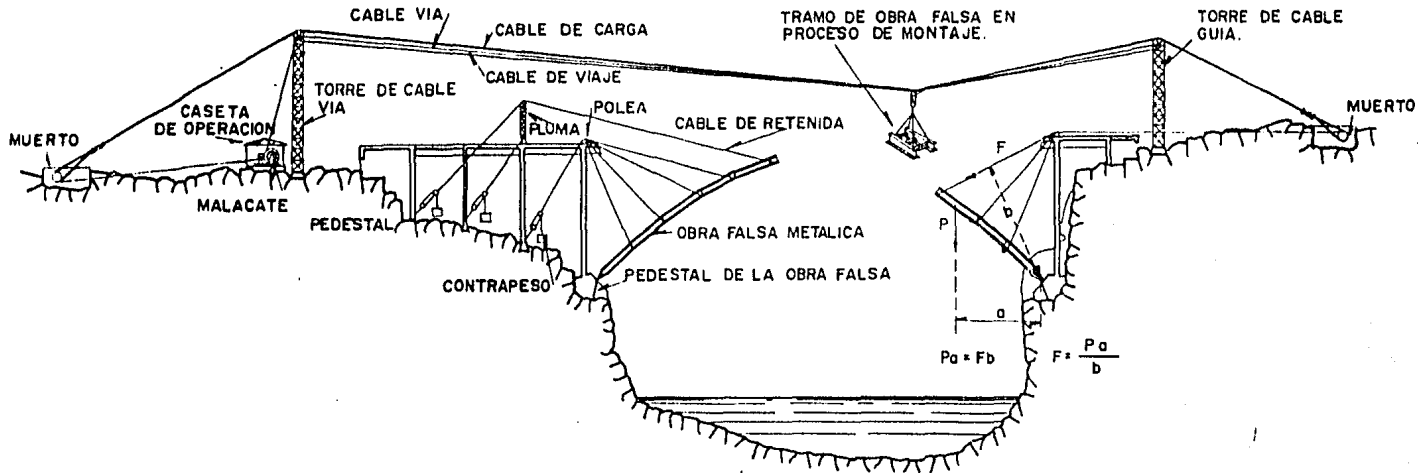
Este tipo de construcción de puentes han venido sustituyendo a diversos sistemas convencionales, entre ellos los colgantes en donde encontramos poca amplitud del ancho de calzada, derivando una mayor capacidad de carga. Las características del cruce elegido deben ser lo más óptimo para construir un arco de concreto reforzado, de sección llena y empotrado, condición que representa una gran economía, debido a que la componente del arco, es absorbida por el propio terreno, que trabaja en estas condiciones como un elemento exterior de la estructura, a diferencia de los arcos articulados donde se precisa contar con un tirante para éllo.

La superestructura podrá ser continúa de concreto reforzado, y apoyada en esbeltas pilas del mismo material. Tanto los viaductos de las márgenes como el que apoya en el arco, se podrán colar con una obra falsa de madera a base de pies derechos, debidamente contraventados para trabajar a su máxima capacidad.

En el sistema de construcción del arco se emplea una obra falsa constituida por dos viguetas I, estando separadas mediante piezas de puente de sección I. (Fig. No. 5).

Sobre estos elementos se instalan para el colado del arco viguetas de madera, a las cuales se les da en su canto superior la curvatura del intradós del arco, a fin de que al colocar las duelas del sistema de piso de la cimbra se reproduzca fielmente su perfil.

El montaje del arco metálico, se lleva a la práctica con el auxilio de un cable vía anclado a 2 torres fijas distantes entre sí, las cuales se anclarán a retenidas sujetas a sendos muros de anclaje, (2 por torre).



PROCEDIMIENTO DE MONTAJE DE LA OBRA FALSA METALICA.

(FIG. N° 5)

Por medio del cable vía se transporta cada uno de los tramos del arco metálico; se sujeta en su lugar mediante dos retenidas ancladas en muertos de concreto, (una para cada vigueta); cada tramo se conecta al anterior mediante placas de empalme y tornillos.

En el montaje puede darse el caso de que por ejemplo la 3o. de las retenidas se tensára más de lo debido, con lo que se aflojarían las 2 primeras, cargándose por consiguiente el peso de los 3 tramos montados en la retenida primeramente mencionada, sin tener ésta la capacidad para éllo.

Lo anterior se resuelve colocando poleas el viaducto, en los puntos donde las retenidas cambian de dirección para ser ancladas en los muertos respectivos, y mediante aparejos lastra-dos para que cada una de ellas trabajen a su debido esfuerzo.

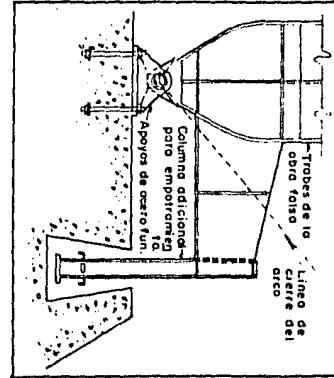
Para retenidas sucesivas puede ser necesario erigir un mástil para mejorar las condiciones de trabajo.

Una vez que la obra falsa se termina de montar, se instalan en los tramos inmediatos a los arranques, los dispositivos de empotramiento que son a fin de mejorar las condiciones de estabilidad, ya que las desviaciones respecto a la directriz de un arco son menores, cuando éste es empotrado, que cuando trabaja como articulado. (Fig. No. 6).

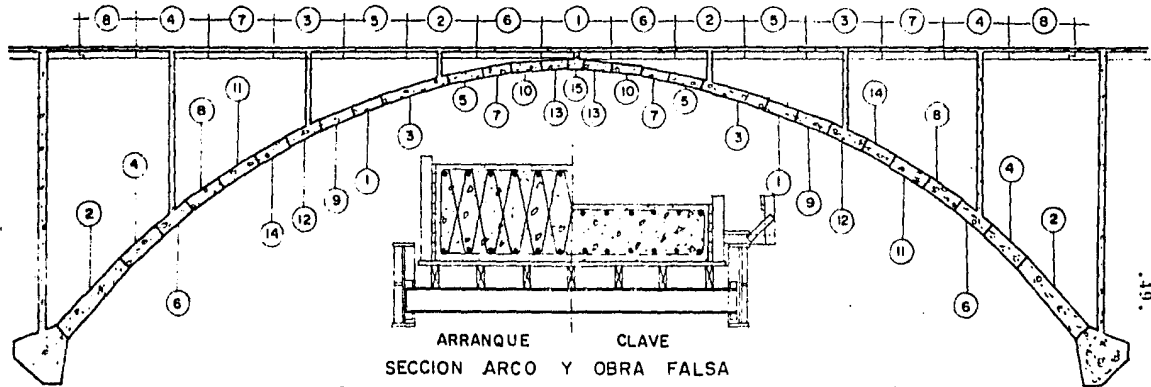
A continuación se procede a forrar el arco metálico tal como se indico anteriormente, y se inicia el colado simultáneo de las dovelas No. 1, previa instalación de refuerzos y los moldes laterales por el cable vía en un bote de fondo móvil (Fig. No.7)

El concreto se cleva a una tolva mediante un malacate y se carga y transporta.

Por efecto del peso de las dovelas No. 1, no obstante sus reducidas dimensiones, se produce una deformación sensible en el arco metálico, que en parte se contrarresta con el colado de las dovelas No. 2, de mayor volumen e inmediatas a los arranques.



DISPOSITIVO DE EMPOTRAMIENTO (FIG. N.º 6)



(FIG. N.º 7)

En estas dovelas por su inclinación tan pronunciada, es preciso forrar el trasdos del arco.

Se continua colando el arco a excepción de la 15a. dovela que corresponde a la clave por las razones que más adelante se expresan.

El armado se hace en dovelas parciales dejando fuera de los moldes la longitud necesaria del refuerzo, para fines de empalmar éste con las dovelas contiguas.

Si la ley de distribución de cargas sobre el arco fuese fija, su directriz podría ajustarse al funicular de éllas, con lo cual el arco sólo trabajaría a compresión. Si las cargas son variables, una parte del arco, al ser cargado, tiende a deformarse, apareciendo flexiones; tal es el caso de los puentes; las cargas móviles deforman el arco, por lo cual éste debe ser capaz de absorber las flexiones producidas por las cargas móviles.

Independientemente de éllo, en claros de consideración, la directriz por efecto de la compresión propia a que los arcos están sujetos se modifica con el tiempo, acortándose debido al flujo plástico del concreto, con lo cual aparecen flexiones, producidas por el momento positivo que resulta en el arco, se hace necesario compensar tales acortamientos introduciendo artificialmente un alargamiento en la directriz, para restablecer sus dimensiones originales.

El acortarse el arco equivale a que sus arranques se corran hacia afuera, aumentando con ello en forma virtual el claro.

Al introducir un gateado en la clave y abrir el arco, tales deformaciones se corrigen o compensan previamente, es decir; al arco se le aplican cargas de compresión tales, que lo hacen trabajar desde su construcción a sus esfuerzos finales de servicio, comprendidos en éstos los que se originan por el peso propio de la estructura, las cargas vivas, la retracción, el acortamiento-elástico del concreto y los debidos a la fluencia.

Cuando los arcos son muy delgados y de poca magnitud, la compensación previa de los efectos descritos no tiene mucha importancia.

Si se colara todo el arco sin gatear la clave, no sería prácticamente factible el descimbrado, ya que el peso del arco, al gravitar sobre la obra falsa, tiende a aprisionarla.

Por otro lado, aunque fuese posible descimbrarlo, tal operación no sería instantánea, por lo que aparecerían esfuerzos parásitos, ya que la parte de acero descimbrada tendría a flexionarse por su propio peso.

Por lo expuesto, se desprende la necesidad de efectuar la operación de inducir esfuerzos en el arco, mediante la aplicación de una fuerza de gateado en la dovela no colada (No. 15).

Ahora bien, como la aplicación de cargas se efectúa mediante gatos hidráulicos, se hace necesario que la transmisión de estas fuerzas no sea concentrada, ya que ésto haría fallar el concreto por aplastamiento, al hacerlo trabajar a esfuerzos superiores a su límite de ruptura, aún cuando los extremos de los gatos apoyen sobre placas de acero de repartición y con los debidos empaques de láminas de plomo entre las placas y la superficie del concreto.

A fin de lograr que la presión aplicada se distribuya uniformemente en toda la masa del concreto, se coloca un armado especial en las dovelas inmediatas a la clave, el cual consiste en tres parrillas de acero de refuerzo, conectadas mediante espirales del mismo material, instaladas estas últimas siguiendo la línea de acción de cada gato.

La operación de gateado se efectúa cuidadosamente, para lo que se sincronizan los gatos, previamente calibrados, mediante una misma bomba de inyección, disponiendo en cada uno un dispositivo mecánico para asegurar la carrera lograda durante el gateado pues de lo contrario, una falla de éllos podría provocar un colapso.

Al concreto vertido se le adiciona un expansor para reducir las contracciones del concreto por fraguado, y una vez lograda la resistencia de proyecto en estos prismas de relleno, se aplica --- una nueva carga a fin de aflojar los dispositivos de seguridad -- con que se acondicionan los gatos durante la abertura del arco, - hacer posible con ello su recuperación; en caso de no lograrse se dejan ahogados dentro del concreto que se vacía después de completar el relleno de la clave.

Como se infiere por lo descrito, al gatearse, al arco metálico queda libre para poderse dismantelar, para lo cual se sujeta al arco de concreto mediante estribos.

Simultáneamente a este trabajo, se procede al colado de las pilas llevando un orden semejante al seguido durante la construcción del arco, a fin de no aplicarle cargas desfavorables.

Finalmente se procede al colado de la superestructura del viaducto sobre el arco, o sea, las traveses de rigidez, para lo - cual se sigue el orden indicado en la (Fig. No. 7).

La construcción de puentes tradicionales a partir del empleo de la obra falsa, poco a poco a sido sustituida por diversos sistemas de construcción y empleo de materiales que redundan en características más optimas.

Son diversos los factores por los que se ha eliminado el empleo de la obra falsa, siendo algunos de ellos: (Figs. Nos. 8,9)

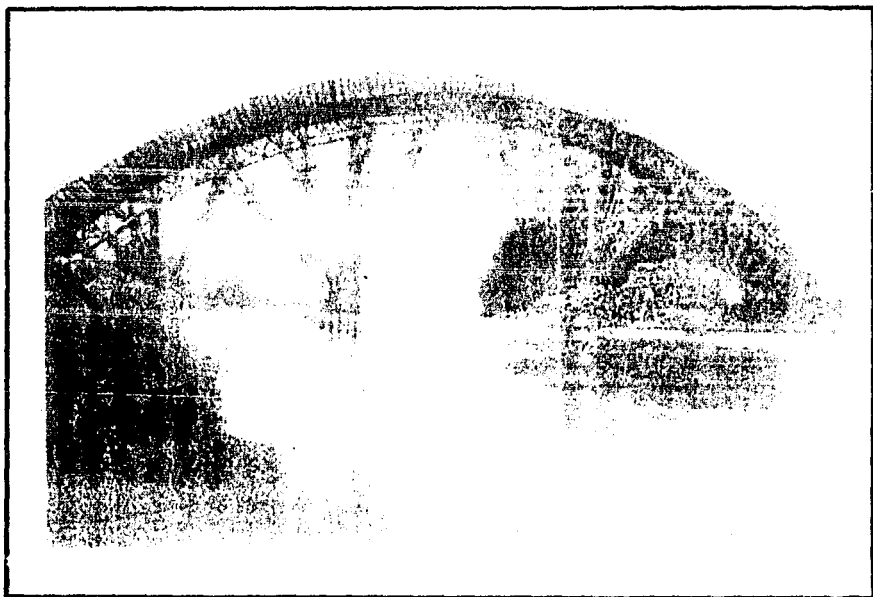
° ECONOMIA; ha resultado antieconómico su empleo, por el elevado costo de los materiales que componen la obra falsa (metálica o de madera).

° TIEMPO; se ha reducido considerablemente el tiempo de construcción con otros procesos constructivos. El cimbrado y descimbrado requiere de mucho tiempo.

° En algunas condiciones el empleo de obra falsa no es conveniente, como es el caso de la construcción sobre cauces muy grandes, en donde resulta impractica. Así como en el caso de viaductos en los que se obstaculiza el tránsito.



(FIG. No. 8)



(FIG. No. 9)

EN AMBAS FIGURAS SE PUEDE OBSERVAR EL GRADO DE DIFICULTAD DE LA CONSTRUCCION DE LA OBRA FALSA.

CAPITULO IV
PREFABRICADOS DE AÇERO

4.1 MONTAJE DE TRABES METÁLICAS

A continuación se presentan algunos sistemas de montaje de traves metálicas.

Un sencillo procedimiento de montaje es el que se hace mediante el uso de un cable vía y que aparece en la (Fig. No. 1) y (Fig. No. 2), el cual se emplea cuando el cauce es de aguas permanentes y no es posible izarlos como en los casos de la (Fig. No. 3, Fig. No. 4 y Fig. No. 5).

En este sistema de lanzamiento, un extremo de la trabe (posición A de la Fig. No. 1), se cuelga del cable de carga (6), mediante el polipasto (4).

El extremo opuesto es suspendido desde el acceso correspondiente mediante una grúa, que a su vez empuja a la trabe en el sentido del avance (7), como se ilustra la (Fig. No. 1).

Como resultado de esta operación el polipasto (4), se abre en el sentido (8), por sobrar cable (posición B). Se suspende la maniobra se cobra cable y con ello se vuelve a la posición A y así sucesivamente, hasta que la trabe libra el claro por salvar.

El procedimiento de montaje que aparece en los grabados de la (Fig. No. 3 y Fig. No. 4), no amerita comentarios; simplemente la trabe es izada mediante los polipastos de dos plumas, ligeramente inclinadas (mediante la operación de sus vientos), a fin de permitir su izado fuera del cuerpo de los apoyos. Al llegar al nivel de las coronas, se requintan los vientos de las plumas a fin de que la trabe en proceso de montaje sienta en sus apoyos respectivos.

La (Fig. No. 6), ofrece un interés especial por referirse al colado de la losa de una superestructura continua de traves metálicas.

Primeramente se cuela un tramo dentro de cada uno de los claros (Etapa No. 1), el cual comprende la zona de los momentos positivos. Como resultado de éllo las vigas se deforman, a causando flechas bajo cada una de las losas así coladas.

Sobre ellas y según el eje de las trabes, se colocan unos cajones de madera que se lastran con arena, dando en este caso una carga de 4 Ton., por metro líneal de trabe (Etapa No. 2), para inducir en las trabes mayores esfuerzos que los que pueden producir combinadamente la carga muerta más la viva.

Debe anotarse que las trabes y las losas están ligadas entre sí mediante conectores.

Bajo el efecto del lastre, se deforman las vigas apareciendo en su patín superior y en la zona de los momentos negativos (sobre los apoyos) las tensiones máximas a que la superestructura del puente puede llegar a estar sujeta, dentro del tráfico especificado en su proyecto.

En estas condiciones, al colar los tramos faltantes de la losa (Etapa No. 3), ésta tendrá las dimensiones de la viga deformada; al retirar el lastre sufre compresiones y no se agrietará en lo futuro, al someterse el puente a servicio, dado que las dimensiones originales de la losa colada sobre los apoyos, corresponden a las vigas deformadas bajo cargas semejantes.

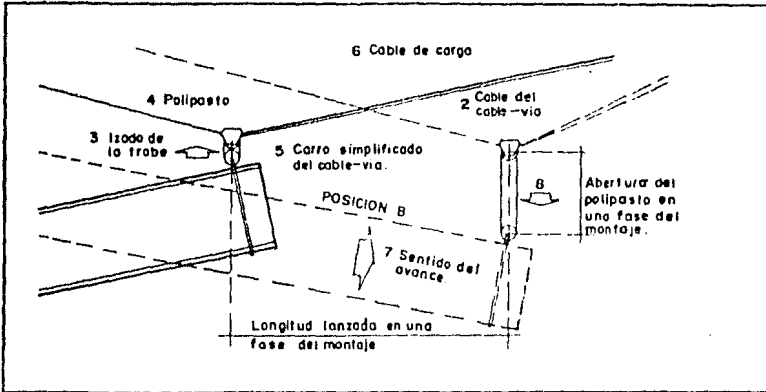
Como se puede ver éste procedimiento presenta dos ventajas:

a) Ser tres tramos de lanzado, en donde 2 de éstos actúan como lastre durante las maniobras de lanzamiento.

b) Disponer del espacio necesario en los accesos para conectar entre sí provisionalmente los 3 tramos por lanzar, para lo cual se instalan viguetas en las juntas, las cuales se sueldan al patín superior de las trabes del puente. Las 2 trabes -

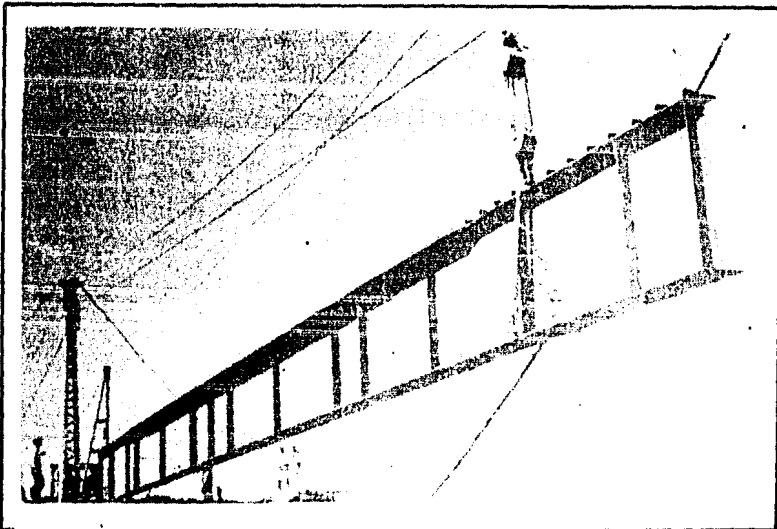
por lanzar simultáneamente se contraventean entre sí.

Otro procedimiento consiste en lanzar las traveses en voladizo mediante una torre metálica auxiliar colocada a una distancia considerable del estribo, en la que al lanzarlas apoyaban directamente, sirviendo para llegar a ella la parte posterior de las mismas traveses colocadas sobre el acceso y unidas a la sección volada. Para absorber el efecto de volteamiento después de la torre, al dejar de ser ésta estable por tener una longitud volada mayor que la que se podía colocar tras el estribo, se puso un marco estructural con topes superiores sobre la corona del estribo, la cual a su vez se ancla al cuerpo del estribo con varillas embebidas en mortero expansivo. Ver - - (Fig. No. 7).



MONTAJE CON CABLE-VIA

(FIG N° 1)



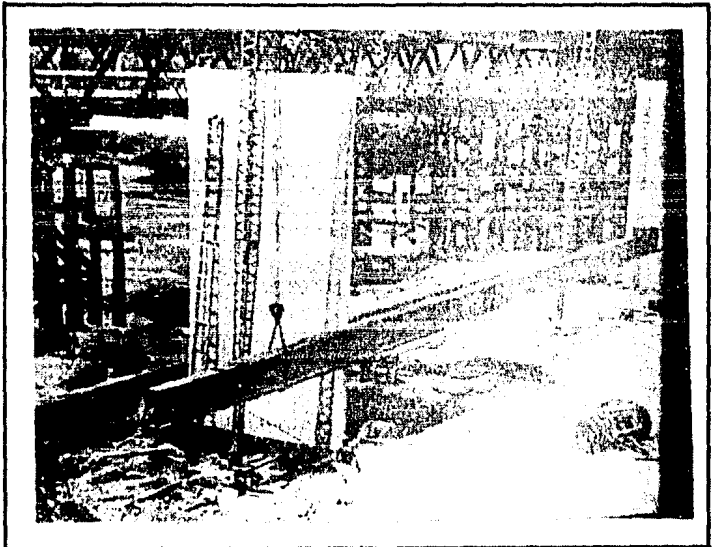
(FIG. No. 2) MONTAJE DE UNA TRABE, MEDIANTE EL SISTEMA DE LANZAMIENTO CON CABLE VIA. ESTE SUSPENDE UN EXTREMO DE LA TRABE, MIENTRAS QUE EL OTRO ES IZADO Y EMPUJADO MEDIANTE UNA GRUA.

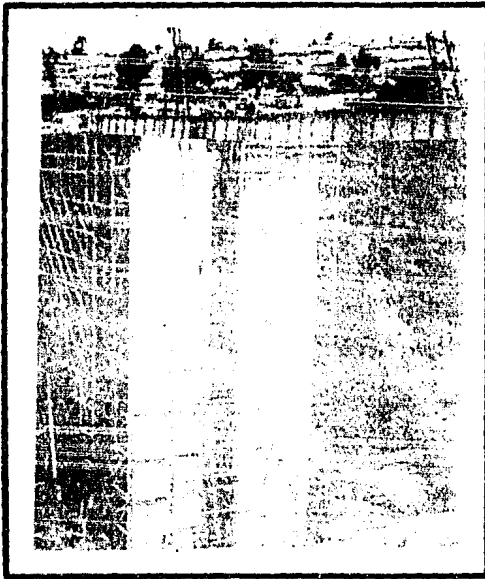
(FIG. No. 3)



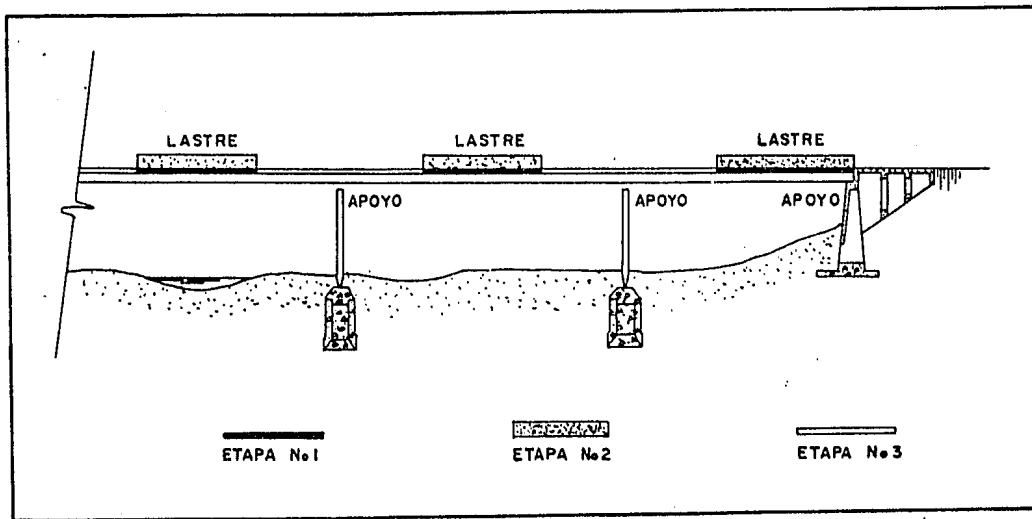
POCELAMIENTO DE MONTAJE DE UNA TRABE, IGANDOLA CON DOS PLUMAS ACCIONADAS POR MALACATES.

(FIG. No.4)

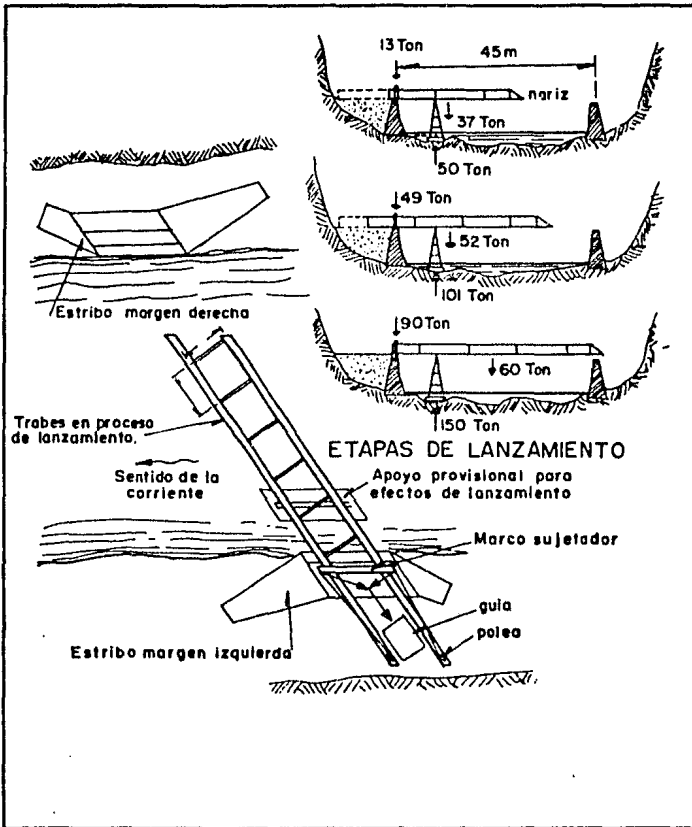




(FIG. No. 5) MONTAJE DE TRABES METALICAS
MEDIANTE DOS PLUMAS EN UN PUENTE DE GRAN AL-
TURA. LAS TRABES TUVIERON PRIMERAMENTE QUE-
BAJARSE AL FONDO DE LA BARRANCA.



ORDEN DE COLADO DE LA LOSA SOBRE VIGUETAS Y LASTRES ESPECIFICADOS
 (FIG. N° 6)



MANIOBRAS DE MONTAJE

(FIG. N.º 7)

4.2 MONTAJES DE ARMADURAS

Las armaduras metálicas eran solución estructural por decirlo así clásica, en la actualidad por los avances tecnológicos pueden considerarse obsoletas, pero aún así se han venido aplicando en la actualidad, por su simplicidad constructiva, para determinados casos específicos.

Es quizá una de las estructuras más versátiles en lo que se refiere a montaje como se verá en esta breve exposición al respecto.

Por el año de 1950, se ideó un sistema de montaje muy ingenioso y a la vez muy simple; en lugar de soportar los elementos de la estructura mediante una obra falsa, se optó por recibirlos mediante cables de suspensión; como es de inferirse, con este sistema se hace posible trabajar durante la temporada de lluvias.

El sistema de montaje antes descrito, se ilustra en la (Fig. No. 8 y Fig. No. 9): Se procede primeramente a erigir en cada uno de los apoyos del tramo por montar, un marco para sus

tentar un cable vía en cada eje de las armaduras.

Para ello en ambos apoyos se iza una pluma que sirve de base, al sobresalir de la corona de éstos, para instalar sobre la misma una columna del marco (Ver Fig. No. 2); tal pluma pasa al lado opuesto de la misma pila mediante un sistema de poleas, para izar así mismo la otra columna del marco, se contraventea mediante travesaños y un cabezal.

A continuación se procede a la instalación de los cables vías; uno en cada columna para el montaje simultáneo de las dos armaduras.

Las plumas que sirvieron para efectuar esta maniobra quedan sobre los apoyos para recibir el cable vía maestro (De indispensable utilidad como se verá más adelante), el cual se coloca en el eje del puente, teniendo una altura mayor que los cables vías indicados.

Cada uno de los cables vías en el apoyo extremo del puente se ancla a un muerto, en el lado opuesto la propia subestructura actúa como tal.

Se procede a montar la armadura; los elementos de esta se transportan por superficie por navegación o a través de las propias armaduras (Este caso es aplicable solamente cuando ya se haya montado al menos una armadura).

Izando un elemento de la cuerda inferior mediante el cable vía se instala en su sitio y se suspende con una retenida; una vez cerrada la cuerda inferior se procede al montaje de los montantes y las diagonales. Los elementos durante el montaje se conectan simplemente con tornillos.

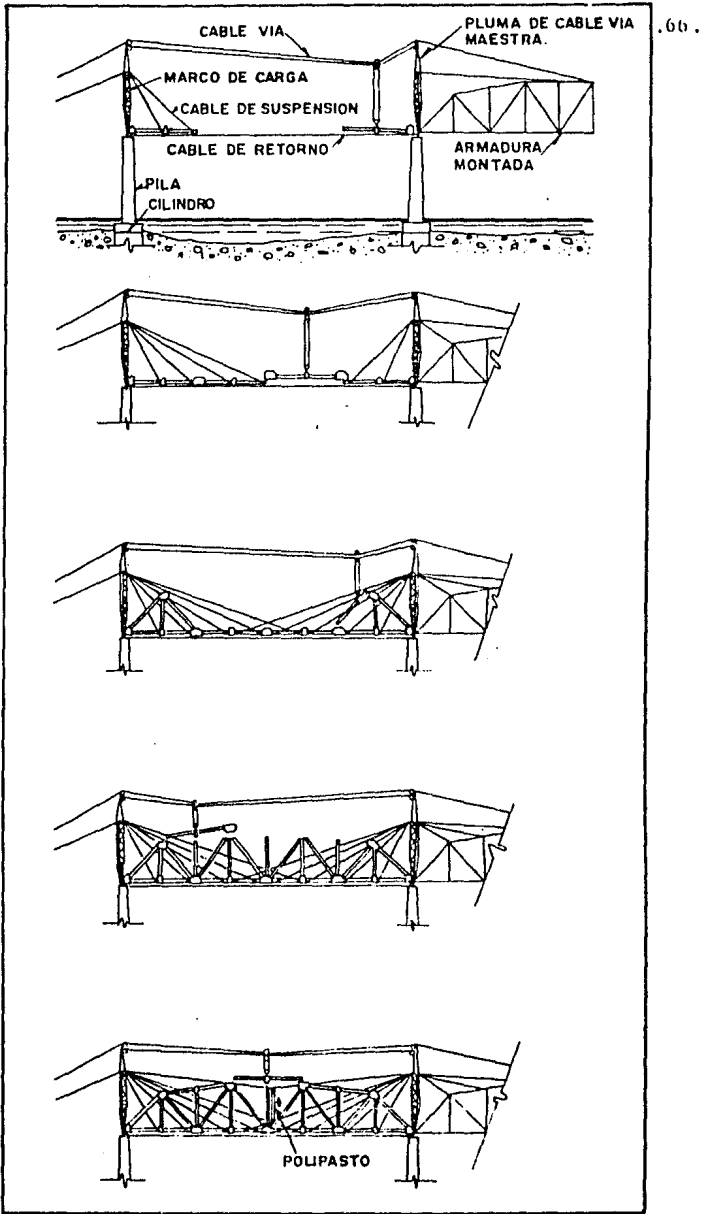
Al montar la cuerda superior, por el peso y el alargamiento de los cables de suspensión, el elemento de cierre no en-

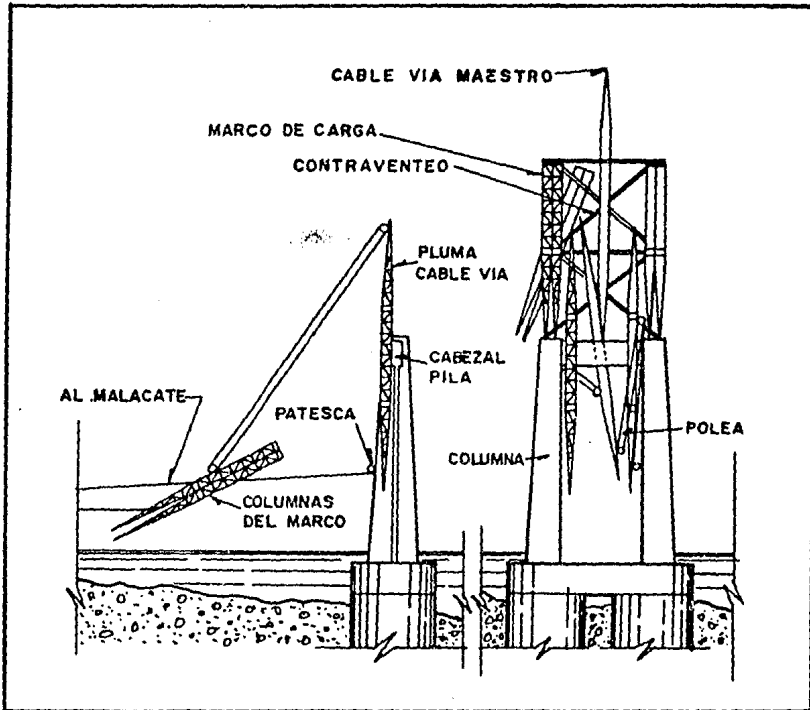
tra en el espacio disponible ; para enmendar este problema el cable vía maestro, recorrido al eje de la hoja de la armadura, mediante un polipasto la levanta de su centro lo necesario para instalar este último.

Operación que no podría efectuar los cables - vías que apoyan sobre las columnas de los marcos.

Para colocar las piezas del puente, larguero y contraventeo transversal, se utiliza el cable vía maestro corriéndolo nuevamente al eje longitudinal del puente.

Finalmente se reemplazan los tornillos que conectaban los elementos de las estructuras durante las maniobras de montaje, por remaches definitivos y se procede a proteger la estructura con pintura anticorrosiva.





MONTAJE SISTEMA CABLES VIAS.
(FIG N°9)

4.3) ARCOS METALICOS

El procedimiento constructivo de arcos metálicos se ilustrará mediante el ejemplo sig:

FIG. No. 10

El cruce ubicado en un cañón donde corre encerrado el río, la roca caliza que aflora en ambas márgenes y las características hidráulicas y topográficas impusieron la solución de un arco metálico, doblemente articulado de 150 m. de claro, que dá paso al ferrocarril y a dos líneas de circulación de vehículos.

La erección del arco la ilustran las (Figs.). Se efectuó en voladizo, partiendo simultáneamente de los apoyos de ambas márgenes (Fig. No. 12, 13 y 14), empleando los largueros del puente como cuerdas de retenida ancladas en 4 muertos de concreto ciclópeo.

Las grúas viajeras se armaron en tierra; una vez instalado el montaje extremo $I_0 - S_0$, se le dió una desviación con respecto a la vertical (Hacia afuera del cauce de 95 mm. en el lado Campeche, y de 110 mm., en el lado Coatzacoalcos para permitir el cierre del arco. Las grúas avanzaron sobre las cuerdas - apernadas a tope, sin apretar las tuercas para permitir el ajuste natural al introducir los primeros esfuerzos de tensión que hicieron trabajar de conjunto a todos los pernos.

Las grúas se instalaron en la posición A, para de ahí montar el primer tablero $S_0 - I_0$, con todos los elementos que lo integran los demás tableros se montaron haciendo avanzar la grúa a las posiciones B, C, D, E y F. Al avanzar se ajustaba su sistema de apoyo extensible, por ir variando en su trayectoria la posición de los elementos de la cuerda superior. Son 10 los tableros de la mitad del arco.

OPERACION DE CIERRE.

En el nodo S_{10} , se instaló una plataforma para efectuar las operaciones de gateo con cuatro gatos de 200 Ton., cada uno y, para accionarlos, se apoyaron en ménsulas verticales de acero, sobresalientes hacia arriba y hacia abajo en puntos próximos a los extremos S_{10} .

La tensión de las cuerdas de anclaje previa al cierre fué de 745 Ton., en el lado del ferrocarril, y de 555 Ton., en el lado de camino. Al llegar la carga de gateo a 310 Ton., y 236 Ton., respectivamente; quedaron sin trabajar las cuerdas de anclaje, a las desviaciones originales de los montantes extremos. $I_0 - S_0$, de 95 mm. y 110 mm., desaparecieron al terminarse el cierre.

Al gatear el arco a las cargas indicadas, el nodo I_{10} se levantó 43 mm., la cuerda inferior se abrió 459 mm. y la superior 387 mm., valores que se redujeron a 8 mm. y 0 mm., respectivamente; al cerrar los nodos I_{10} , después de lo cual se conectaron éstos con las placas, primero con punzones y pernos, para luego hacer el remachado definitivo, retirando los gatos.

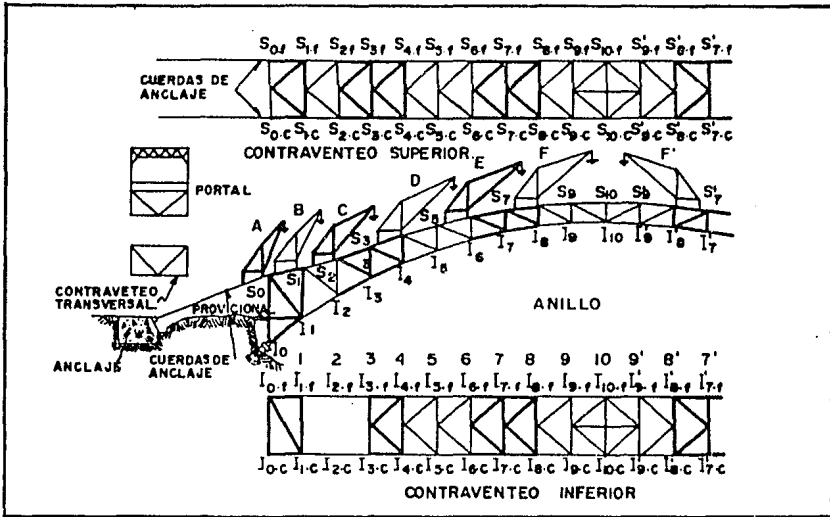
La aplicación del gateo tuvo como objeto:

- 1) Soltar y retirar las cuerdas de anclaje.
- 2) Anular los esfuerzos de tensión a que estuvieron sometidos sus miembros durante el montaje.
- 3) Introducir esfuerzos iniciales de compresión en las hojas, para hacer trabajar la estructura como arco de tres articulaciones, hasta antes del cierre.
- 4) Introducir un momento inicial favorable al arco, para disminuir los esfuerzos generados por el peso propio y la carga viva.
- 5) Permitir el cierre del arco al llevar los nodos I_{10} y

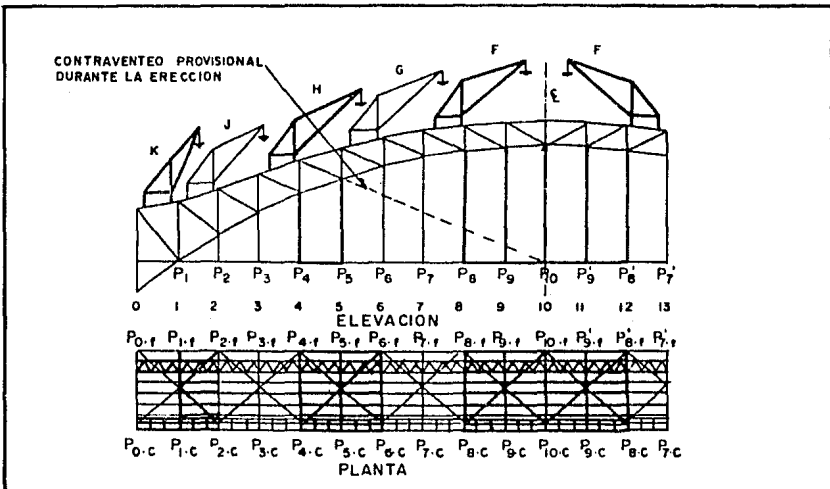
S_{10} , a sus posiciones correctas.

Terminando el cierre y aprovechando las grúas en el sentido inverso, para instalar los demás colgantes y elementos longitudinales y transversales, como se observa claramente en la Fig. No. 2.

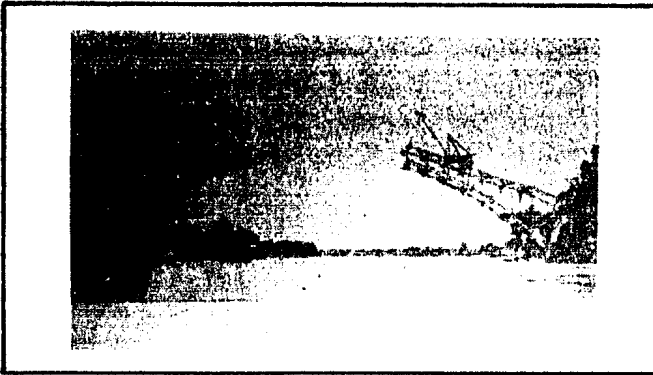
Tanto en el montaje del arco, como en la instalación de los demás elementos estructurales, las grúas fueron alimentadas mediante barcazas.



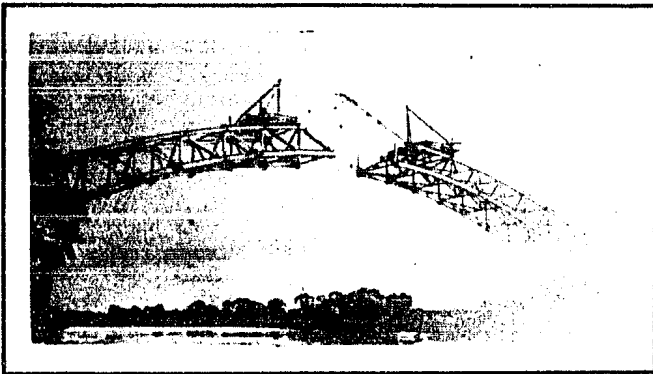
PROCEDIMIENTO DE ERECCION DE LOS ANILLOS Y SUS CONTRAVENTEOS. (FIG N°10)



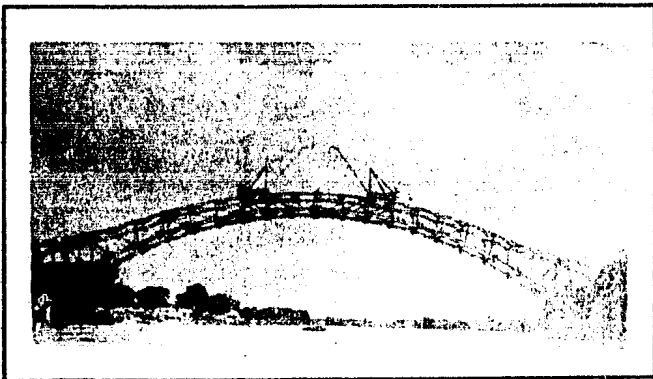
PROCEDIMIENTO DE ERECCION DE LAS PENDOLAS Y DEL SISTEMA DE PISO (FIG N°11)



(FIG. No. 1



(FIG. No. 1



(FIG. No. 1

4.4.) ESTRUCTURAS ORTOTROPICAS

Al eliminar el empleo del concreto y remplazarlo con un sistema de piso ligero, la estructura metálica se vuelve costea-ble por su ligereza. Ello fué posible recurriendo al empleo de un sistema de piso de placa de acero denominado ortotrópico, que consiste en conectar las traveses en su nivel superior me-
diante una placa de acero; dada la separación de las traveses no estaría como es obvio en capacidad de soportar el tráfico pesa-
do.

Pero si éstas planchas son atiesadas en el sentido longi-tudinal del puente, con nervaduras o costillas de acero solda-das, el claro de trabajo se reducirá considerablemente y la ca-pacidad aumentaría hasta lograr una capacidad de trabajo ade-cuada.

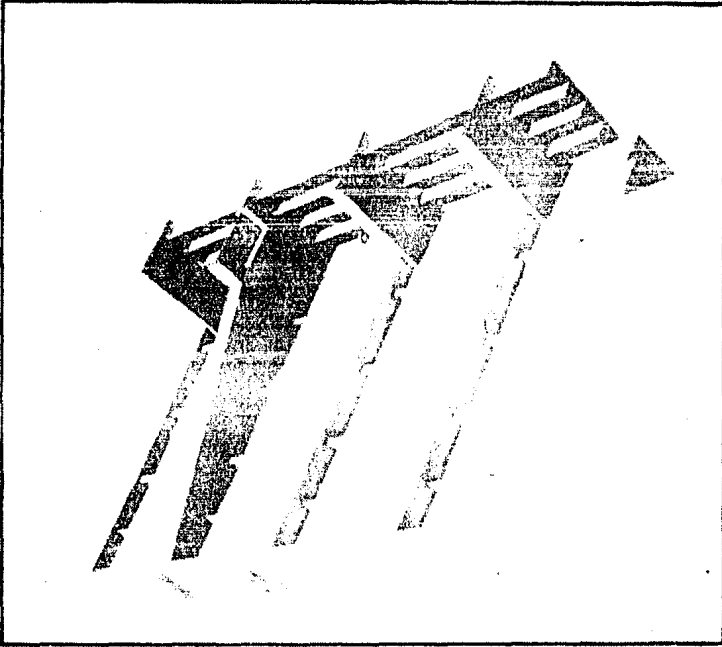
Estas nervaduras a su vez no pueden librar estructuralmen-te los claros de la superestructura, por lo que se deberá con-tar con piezas de puente que se conectarán a las traveses maes-tras, a las cuales en su parte superior se les practicaron ran-uras para darles continuidad de apoyo a las costillas. (Ver -
Fig. No.15 y No.16).

Cabe hacer notar que este sistema estructural se integra-a las traveses maestras como patín superior de las mismas.

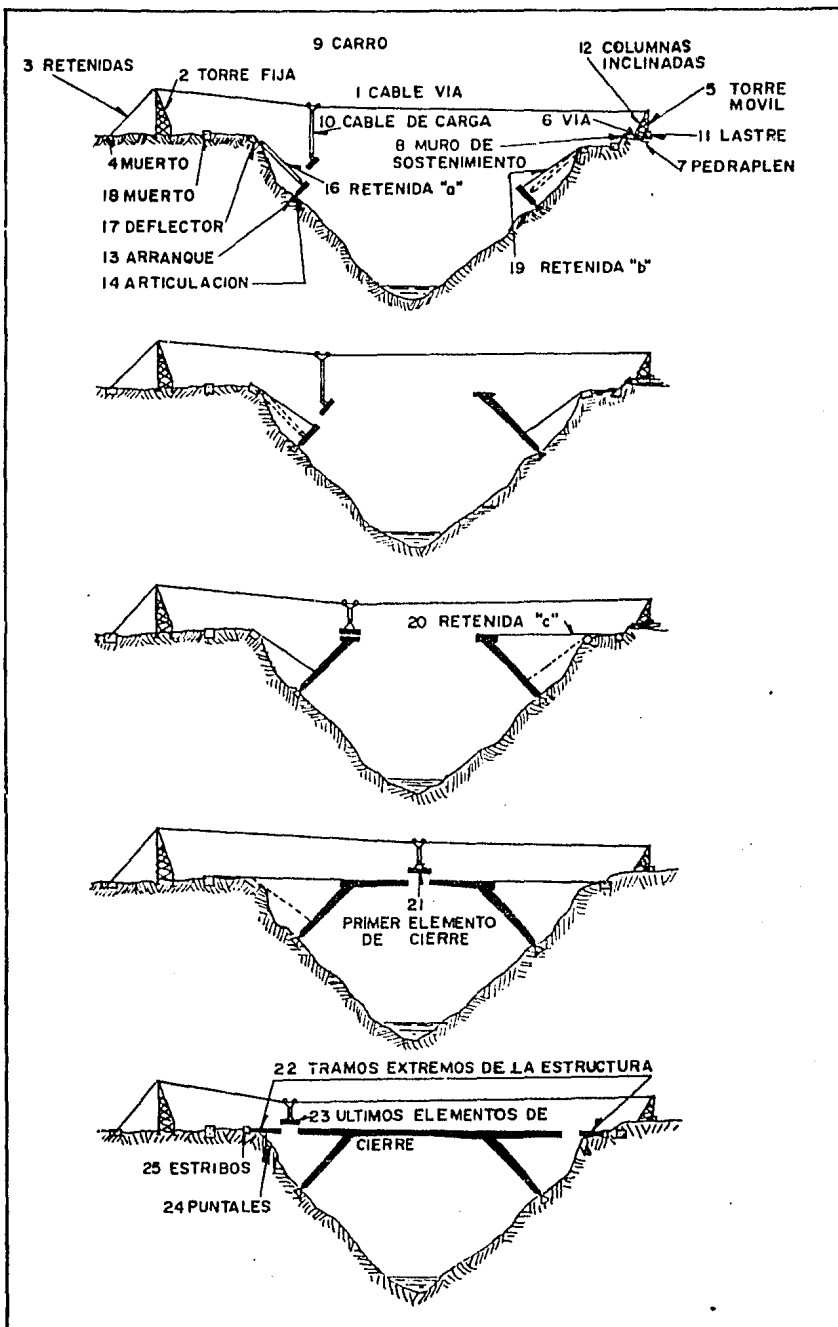
El comportamiento de una placa atiesada en dos direccio-nes, es semejante a un cuerpo con distintas propiedades elásti-cas en dos direcciones perpendiculares, conocido como un cuer-po ortogonal, anisotrópico u ortotrópico; combinación de ambas palabras.

4.5) ESTEREOESTRUCTURAS

Una aportación de la Ingeniería Mexicana a la construc---



(FIG. No. 15) TRAMO DE LA TRABE DE LA SUPERESTRUC-
TURA. VEANSE LOS ATIEZADORES DE LA PLACA DEL SISTE-
MA DE PISO? QUE JUNTO CON LAS PIEZAS DEL PUENTE --
CONSTITUYEN EN ESCENCIA EL SISTEMA ORTOTROPICO. TAM-
BIEN CUENTA CON RIGIDIZADORES EN AMBOS SENTIDOS.



PROCEDIMIENTO GENERAL DE MONTAJE DE LA ESTRUCTURA.

(FIG. N.º16)

ción de puentes, lo constituyen las estructuras espaciales de nominadas estereoestructuras, que en nuestro medio se les ha designado inadecuadamente como tridilosas.

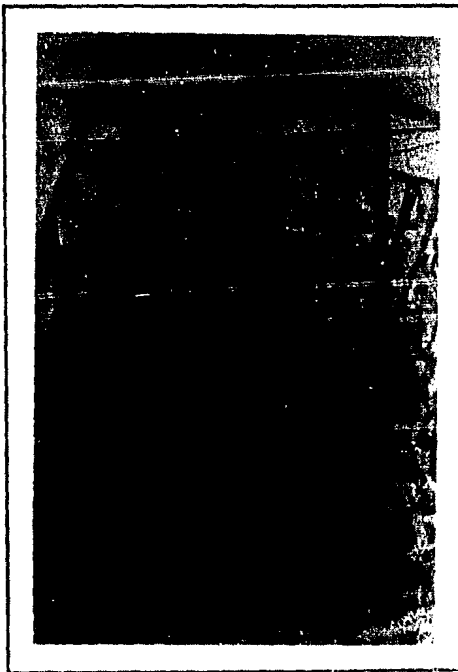
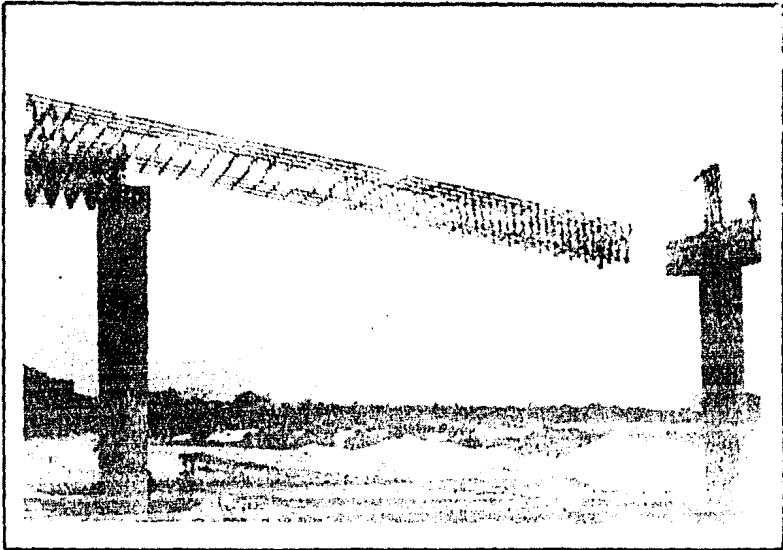
A) TRANSPORTE Y MONTAJE

Se transporta el conjunto de la estructura empleando un eje de dos ruedas y la quinta de un trailer, en tramos de 8 m., a 12 m., (según las características geométricas del camino).

Ya en las terracerías de acceso, se integra el conjunto de la estructura, la cual una vez desplazada al extremo del puente, si este se localiza en un radio en que sea costeable contratar dos grúas, serán éstas las que monten la estructura, la cual mediante dispositivos especiales desliza sobre los citados cables, por la acción de dos polipastos, tal como se ilustra en la (Fig. No. 17). Para que no se desboque en su recorrido, se precisa frenarla mediante un malacate.

Otra de las ventajas de carácter constructivo, lo representa la facilidad de cimbrado de la losa, moldes metálicos ligeros de sección canal debidamente modulados, se cuelgan de las cuerdas superiores.

Aplicaciones: Por su versatilidad ha sido posible construir superestructuras en plazos de emergencia, dado que la producción de estas estereoestructuras, es casi ininterrumpida; por lo cual se cuenta con reservas en longitudes de 10 m. y 15 m., que se pueden combinar acoplándolas.



(FIG. No. 17)

DETALLE QUE MUESTRA LA
GEOMETRIA DE UNA ESTE-
REOESTRUCTURA.

CAPITULO V

PREFABRICADOS PRESFORZADOS
DE CONCRETO

5.1 GENERALIDADES.

El preesforzado puede definirse como un artificio mediante el cual se provocan a un material, esfuerzos internos, con anterioridad a la aplicación de cargas exteriores, o simultáneamente a éstas, en magnitud y distribución tal, que combinados con los que originan las cargas exteriores, se produzcan esfuerzos comprendidos dentro de los límites que el material pueda soportar indefinidamente. En tal virtud, puede tenerse concreto preesforzado, acero preesforzado, madera preesforzada, etc.

Este concepto y su aplicación data de hace mucho tiempo; sin embargo hasta estos últimos años se ha concebido y aprovechado realmente la idea del preesforzado, con la creación de materiales de mejor calidad.

Una estructura preesforzada difiere, por consiguiente, de una no preesforzada en su comportamiento. Una viga simplemente apoyada, sea de concreto, madera o acero, se flexiona bajo el efecto de su propio peso, deformación que se incrementa al aplicarle en igual sentido otras fuerzas exteriores, sean éstas uniformes, concentradas o móviles; al flexionarse, las fibras longitudinales se deforman acortándose las situadas arriba del eje neutro, y alargándose las que quedan abajo de éste, como resultado de los esfuerzos de compresión y tensión respectivamente.

En el caso de una viga de concreto reforzado, como este material es incapaz de soportar esfuerzos considerables de tensión una gran parte de la zona que queda abajo del eje neutro se agrieta, y sólo se considera capaz de admitir esfuerzos de compresión la parte que queda arriba del eje neutro, debiendo tomar todo el esfuerzo de tensión el acero de refuerzo; por lo tanto, el concreto abajo del eje neutro, gravita inútilmente.

El artificio del concreto presforzado permite que el comportamiento de la viga bajo las condiciones antes descritas - sea diferente, ya que se logra que toda la sección esté sujeta únicamente a esfuerzos de compresión permanentes, aprovechándose íntegramente y evitando el agrietamiento.

Existen dos formas para aplicar el preesfuerzo: Después - de endurecido el concreto (postensado), y antes de endurecido (pretensado); en el primer caso, los cables son alojados dentro de un tubo o ducto para evitar que durante el endurecimiento éstos se adhieran a él, y permitan ser estirados (tensados) y anclados en los extremos de la viga, después de endurecido el concreto, produciendo así la fuerza de preesfuerzo; ahora bien, a estos cables se les puede dar cierta curvatura a lo largo de la viga, obteniéndose así la variación necesaria de la posición de la fuerza de preesfuerzo.

En el segundo caso, los cables o alambres son tensados antes del vaciado del concreto y soltados después de endurecido éste. En este sistema, los cables o alambres de alta resistencia no cuentan con ductos, ya que la transferencia de los esfuerzos de tensado se transmite al concreto por adherencia. Vertido éste, y una vez alcanzado el 85% de su resistencia, - se suelta el anclaje de los cables produciéndose como resultado de esta operación, la citada transferencia, en este caso - como se dijo por adherencia.

5.2 SISTEMAS DE PREESFUERZO.

Las operaciones que se realizan en el preesfuerzo, se pueden enumerar de la siguiente forma:

- 1).- Debe ponerse especial atención en la colocación de los ductos que alojarán los cables de preesfuerzo siguiendo lo más apegado posible las trayectorias que marca el proyecto.

- 2).- Es muy conveniente la colocación de un poliducto dentro del ducto de lámina que formaría el hueco donde se colocan los cables de preesfuerzo, el cual se utilizará después del colado para permitir la colocación del acero. Este poliducto tiene por objeto evitar la entrada de lechada en caso de rompimiento de la lámina del ducto y en consecuencia prevenir la formación de taponés, así mismo, se logra una mejoría notable en las trayectorias de los cables.
- 3).- Antes del tensado del acero se procede al estudio de los diagramas de esfuerzos, anotando los valores exigidos, - con objeto de conocer las fuerzas de gateado necesarias en los respectivos cables.
- 4).- Es preciso conocer la curva esfuerzo--deformación del acero por emplear y calcular con ella y con los datos de proyecto (longitudes de cable y tensiones a lo largo del mismo), las elongaciones por lograr.
- 5).- Conocer las características del gato y formar un cuadro de equivalencias, en el cual se anotará la correspondencia, en toneladas de cada lectura del manómetro.
- 6).- Purgar el gato antes de iniciar el tensado para expulsar burbujas de aire, basura, etc.
- 7).- Calibrar los manómetros, operación que se efectúa en el laboratorio generalmente.
- 8).- Comprobar que el cable corra libremente dentro del ducto, con el objeto de asegurar que la acción de tensado - se distribuya a todo lo largo del cable.
- 9).- Tensado del cable: Se aplica inicialmente una tensión - del orden de 10% a 20%, se toman referencias de los ca--

bles. A continuación se incrementa la tensión por incrementos iguales para medir la elongación que sufren dichos cables, para checar el alargamiento total obtenido con el alargamiento teórico calculado. Si el teórico no se obtuvo a la fuerza prevista, se requiere una revisión al cálculo o al procedimiento seguido.

10).- Si se tiene que tensar la trabe de ambos lados, se realiza con la utilización de 2 gatos (uno en cada extremo) - que trabajen independientes. Esto se realiza con el siguiente procedimiento. Se aplica en cada extremo la primera tensión en forma simultánea, si los alargamientos - en uno y otro lado son sensiblemente diferentes en la siguiente elevación de tensión, deberá aumentar primeramente la del lado del alargamiento menor, hasta que se igualen; al lograrlo se continuará aumentando simultáneamente la tensión en ambos lados, no debiendo nunca aplicarse distintas fuerzas de tensado.

11).- Al final se realiza el anclaje procurando reducir las tensiones máximas de los extremos sin afectar las exigidas por el proyecto.

12).- Por último se realiza la inyección de la lechada que rellenará el espacio entre acero y ductos. Antes del inyectado se introduce primero agua para la limpieza del cable y del ducto, después del lavado se inyecta una mezcla de agua y cemento, con un aditivo para hacer fluida la mezcla. Una vez que la lechada sale igual que como entra, se tapa el orificio de salida y se aumenta la presión de inyectado para asegurar que quede completamente lleno el ducto, procediéndose a sellar la entrada.

Por último cabe mencionar que los sistemas de preesfuerzo usados comúnmente en nuestro país son:

- Sistema Freyssinet.
- Sistema BBRV.
- Sistema Gifford-Udall.
- Sistema Stronghold.

5.3 SISTEMA CONSTRUCTIVO DE SUPERESTRUCTURAS PREFABRICADAS.

La construcción de superestructuras prefabricadas en otros países ha tenido bastante éxito, fundándose en ésto, muchos ingenieros ven en esta modalidad constructiva una forma de abaratar las estructuras de los puentes. En efecto, es difícil negar la conveniencia de estandarizar soluciones y recurrir a procedimientos industrializados de producción. Sin embargo, no es raro encontrar cierta resistencia a la aplicación de técnicas de prefabricación, resistencia que no deja de tener alguna justificación. Nuestras condiciones no son iguales a las de los países donde los nuevos sistemas han demostrado su bondad, que, o son altamente industrializados o por algún motivo tienen escasez de mano de obra, casos en que las ventajas de recurrir a la prefabricación resultan evidentes. En nuestro país no es así, la mano de obra todavía es abundante. Por otra parte, las distancias son muy largas, lo que no favorece el establecimiento de plantas fijas. No hay que olvidar tampoco la importancia que tienen en nuestra forma de trabajar, la improvisación y la intuición, ambas cosas incompatibles con los principios de la prefabricación.

5.3.1 SUPERESTRUCTURAS PREFABRICADAS PRETENSADAS.

Las estructuras pretensadas tienen como característica principal que son fabricadas en plantas industrializadas, donde su producción, altamente mecanizada, permite fabricar un mayor número que si se construyeran en la obra, al grado de que quedan compensados los costos de su transporte. Las principales ventajas que se obtienen utilizando este método constructivo es la rapidez con que se realiza la obra, se utiliza poca mano de obra, se facilita el proceso de supervisión y control.

DIFERENTES SECCIONES ESTRUCTURALES DE TRABES PRETENSADAS COMUNMENTE USADAS.

La prefabricación se asocia siempre con la estandarización y la industrialización. En efecto, sin estandarizar es difícil industrializar los procesos de fabricación, y si no se industrializa y no se recurre a la producción en serie, no se podrán obtener las reducciones de costo requeridas para compensar los costos de transporte y montaje propios de la prefabricación. Es fundamental por lo tanto estandarizar las estructuraciones, las secciones de los elementos prefabricados, las juntas, los detalles de apoyo y los procedimientos constructivos.

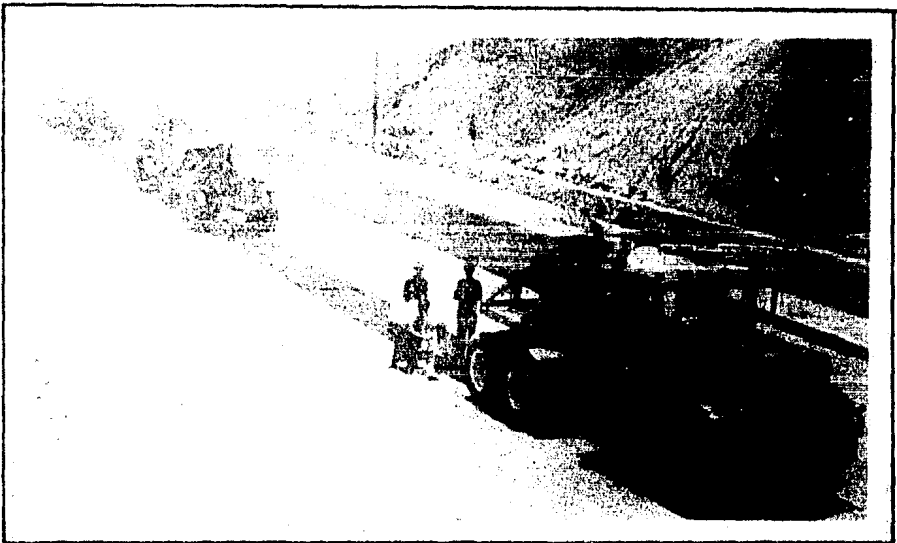
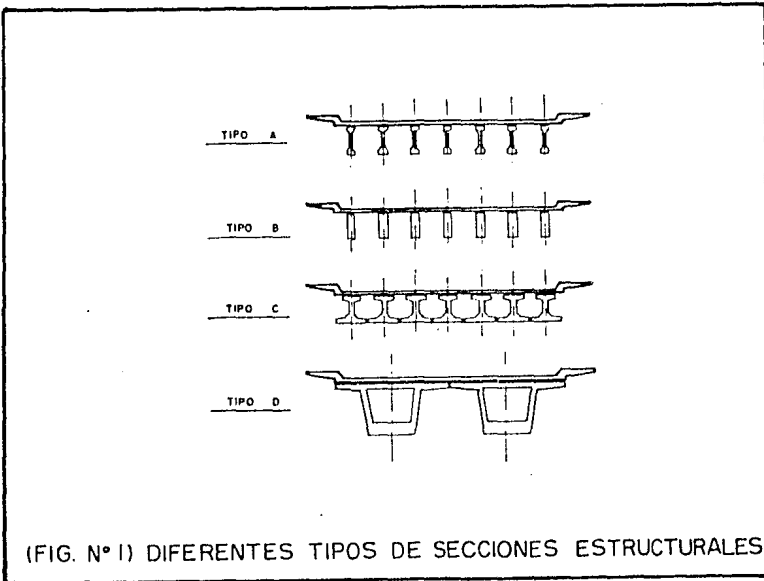
Para la elección de la sección estructural de las trabes se pueden considerar varios factores entre los que destacan: La variedad de claros y ancho relativamente grande, las limitaciones de peralte, el aspecto de la parte inferior o bien en algunas ocasiones una determinada sección puede ser eficiente estructuralmente pero, el número de piezas requeridas para la construcción del puente no justifica la fabricación de un molde especial.

Entre las secciones que más se han usado en este tipo de construcciones se observan en la Fig No. 1.

TIPO "A". Vigas I que se usan generalmente en claros grandes formando una sección compuesta con la losa colada en el lugar.

TIPO "B". Trabes rectangulares, son utilizadas debido a su sencillez de prefabricación.

TIPO "C". Sección TIB. Es una sección maciza de perfil I, que da la apariencia de losa plana, ya que los patines inferiores se encuentran en contacto.



(FIG. No. 2) TRANSPORTE DE TRABES PREFABRICADAS PRETENSADAS POR MEDIO DE TRAILER.

TIPO "D". Sección hueca doble con patines superiores en-
volado haciendo contacto entre ellos, es muy eficiente desde-
el punto de vista estructural por su alta capacidad a la tor-
sión.

DESCRIPCION DE LA FABRICACION DE LOS ELEMENTOS PRETENSADOS.

La fabricación de los elementos se lleva a cabo en una nave cubierta donde se aloja una mesa de pretensado convencional con longitud variable de 80 m. a 100 m., los colados y los movimientos de piezas se hacen por medio de grúas viajeras. Para la construcción de las trabes primeramente se instalan, anclan y tensan los cables o alambres de preesfuerzo, y a continuación se arman tanto el refuerzo longitudinal como el transversal.

Para asegurar que los cables de preesfuerzo queden en posición correcta dentro de la sección se utilizan 3 placas guías de acero, dos en los extremos de la mesa y una al centro. La cimbra se diseña de manera que pueda montarse y desmontarse con facilidad. El colado se realiza con tolvas transportadas por las grúas viajeras. Posteriormente se realiza el vibrado del concreto; con el fin de lograr ciclos de fabricación reducidos, el concreto se cura con vapor a presión atmosférica y a una temperatura de 70°C. En estas condiciones pueden obtenerse las resistencias del 80% al 85% de su resistencia a la rotura, para realizar el destensado unas diez horas después del colado. El vapor se empieza a aplicar de dos a tres horas después del colado. Durante el curado los elementos se cubren con lonas. Lograda la resistencia necesaria para aplicar el preesfuerzo, se cortan los cables, con lo cual se efectúa la transferencia de esfuerzos entre cables y concreto.

Posteriormente se realiza el transporte de las trabes --

al sitio de montaje. Este transporte se realiza por medio de trailers, como se muestra en la Fig. No. 2.

MONTAJE DE LAS TRABES

El transporte de las traves se hace directamente al sitio de izado para formar la superestructura. En la Fig. No.3 podemos observar una forma de acomodar estas traves en el lugar de izado para posteriormente montarlas.

El montaje de las traves prefabricadas pretensadas, se hace generalmente con grúa móvil debido a que básicamente estos puentes no son de gran altura. En la Fig. 4 se puede observar este procedimiento.

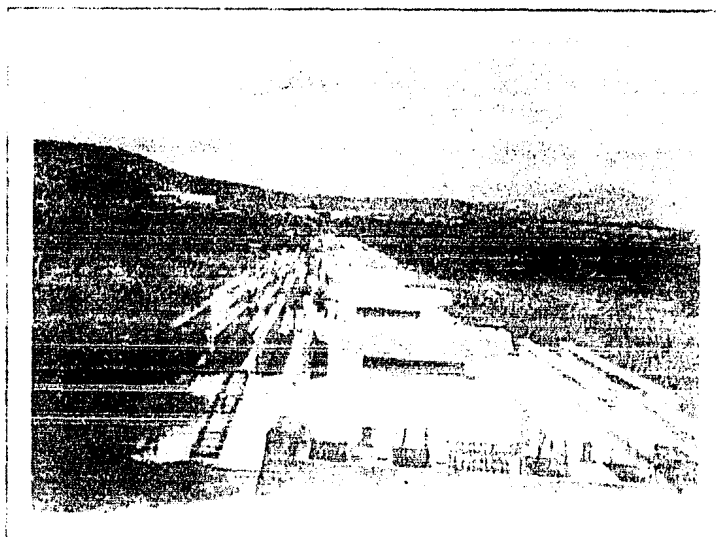
Las traves se apoyan en su lugar definitivo mediante placas de neopreno. Estas traves dependiendo de su diseño pueden trabajar como apoyos fijos o móviles. En la Fig.No.5 se presentan algunos dispositivos de apoyo para diferentes tipos de traves.

COLADO DE LOSA SUPERIOR

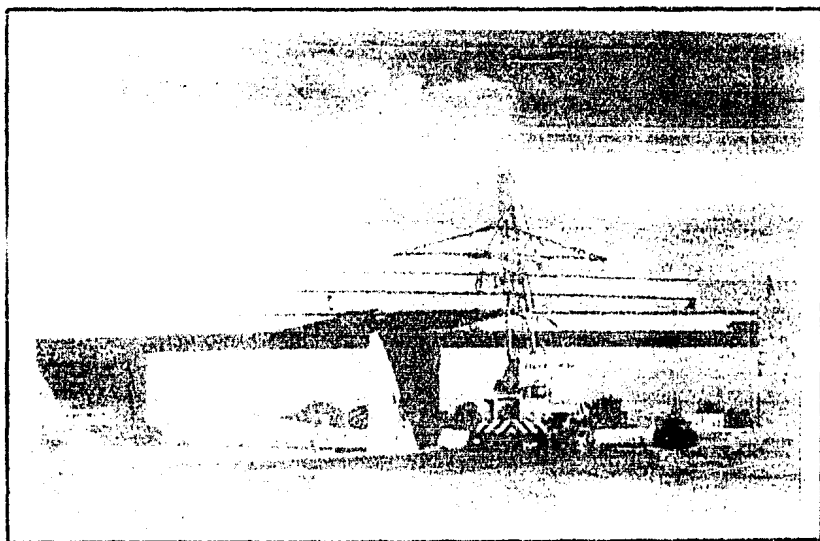
La realización del colado de losa depende de varios factores: Separación de las traves entre sí, del tipo de sección estructural de las traves, de la apariencia inferior de la superestructura del puente etc. Debido a esto se utilizan distintos tipos de cimbras:

CIMBRAS CONVENCIONALES:

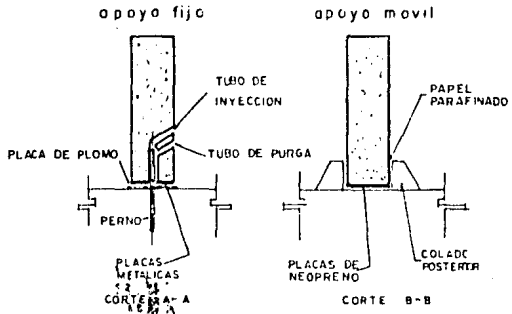
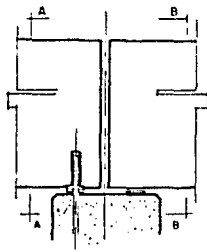
En colado de la losa de la superestructura se realiza colocando una obra falsa de madera en medio de cada trabe. Esta cimbra se ancla directamente sobre el peralte de las propias traves, formando así un sistema de piso en conjunto con la parte de las traves que van a quedar en contacto con la losa.



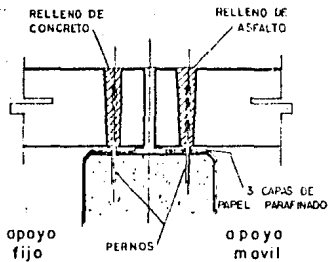
(FIG. No. 3) ALMACENAMIENTO DE TRABES PREFABRICADAS
EN EL LUGAR DE IZADO.



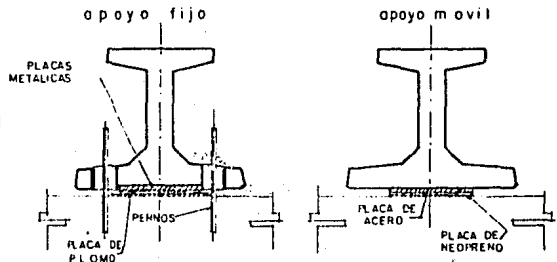
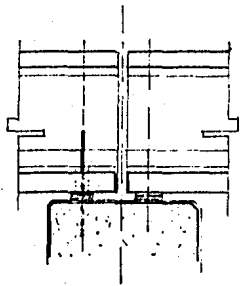
(FIG. No. 4) MONTAJE DE TRASE POR MEDIO DE GRUA.



Apoyo en Trabes IB



Apoyo en Trabes RB



Apoyo en Trabes TIB

(FIG. N° 5.) DISPOSITIVOS DE APOYO PARA ALGUNOS TIPOS DE SECCION ESTRUCTURAL

En la Fig. 6 se pueden observar estos preparativos.

Una vez que se tiene cimbrado se procede a la realización del armado de la losa superior. Cabe mencionar que para anclar el armado con las traveses, éstas tienen unos ganchos que sobresalen de la misma, los cuales se previeron con toda anticipación, colocándolas desde su prefabricación para que el anclaje de losa y traveses sea eficiente. Ya que se tiene armado se procede a la realización del colado, cuando el concreto ya fraguado se descimbra la losa recuperándose la cimbra para poder ser reutilizada.

CIMBRA AHOGADA.

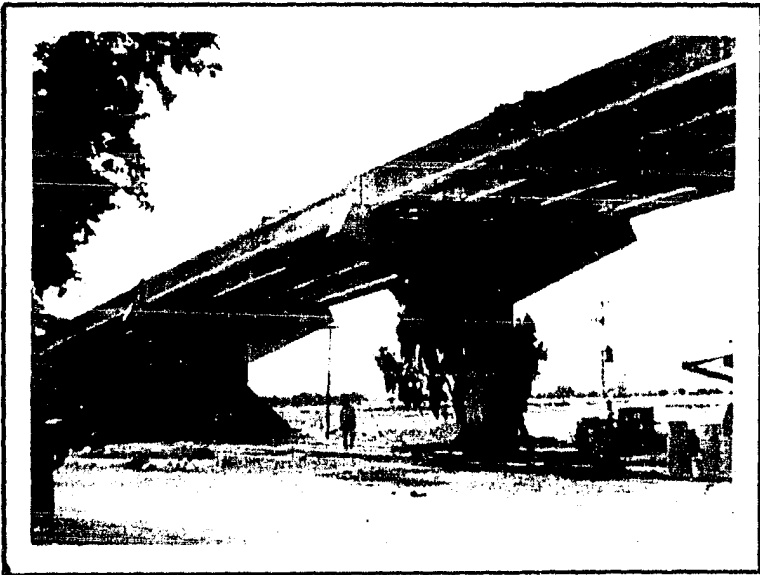
Son elementos precolados cuya función es actuar como cimbra muerta en el colado posterior de la losa final. Su función estructural es la de servir como elemento de liga para que junto con las traveses formen un sistema monolítico entre cada apoyo. Estos elementos precolados pueden ser de diferentes tipos. Dependiendo de la apariencia que se quiera dar.

5.3.2.SUPERESTRUCTURAS PREFABRICADAS POSTENSADAS.

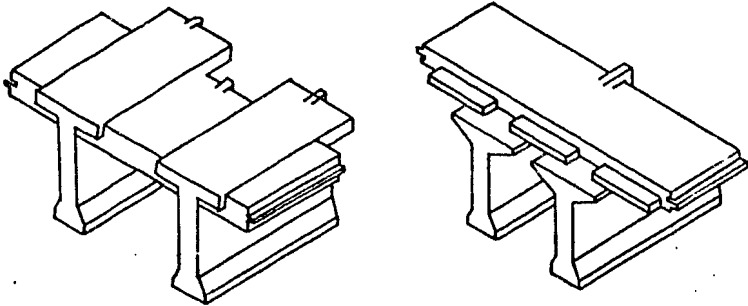
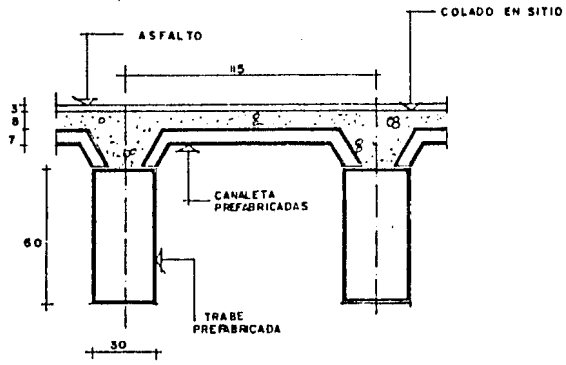
La modalidad de la prefabricación más frecuente en México han sido los Puentes Postensados. Las vigas se prefabrican en los accesos del puente para ser lanzadas posteriormente sobre los claros a salvar.

En nuestro país los procedimientos de lanzamiento de traveses prefabricados son:

- Utilizando un viaducto de armaduras con vías en la parte superior para transportar las traveses fabricadas en los accesos
- Utilizando obra falsa lanzada.
- Utilizando el sistema de empuje.
- Utilizando grúas móviles



(FIG. No. 6) UTILIZACION DE CIMBRA CONVENCIONAL PARA EL COLADO DE LA LOSA SUPERIOR.



ISOMETRICOS

(FIG. Nº7) USO DE CIMBRA AHOGADA PREFABRICADA

- Sistema de Viaducto de Armaduras.

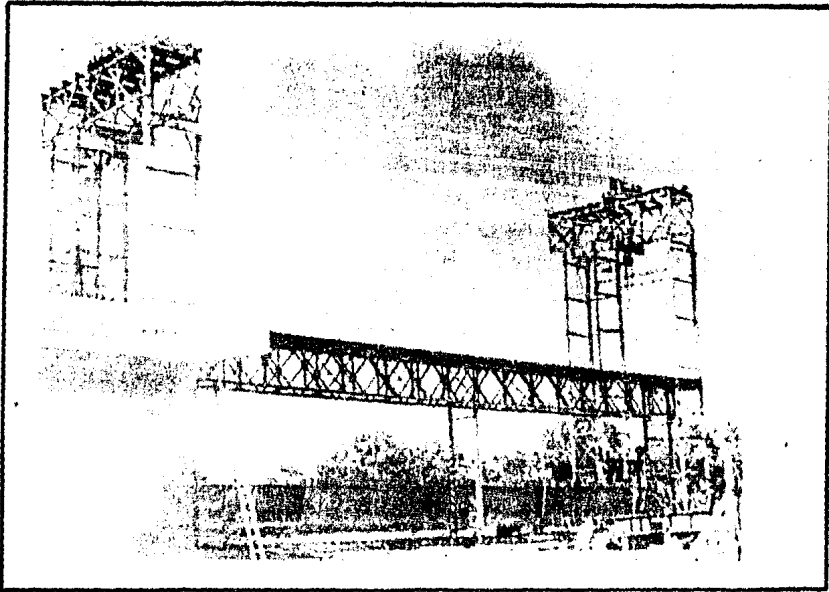
Una vez construidas las pilas se coloca el viaducto para el transporte de las traveses prefabricadas, se montan con el sistema de lanzamiento empleando como nariz una armadura ligera. Este viaducto está constituido por armaduras tachada, debidamente contraventeada y dotada en su parte superior de vías para el transporte de las traveses precoladas. Al extremo por lanzar de estos elementos, se les conectan armaduras ligeras, con objeto de prolongar su longitud; mediante gatos se lanzan las armaduras, por lo que, contando éstas con una nariz ligera, logran apoyarse en la pila inmediata. En la maniobra se utilizan indistintamente según las condiciones, gatos, tirforas o malacates. Sobre este viaducto así montado. Se transportan las traveses las cuales se bajan al nivel de los apoyos del puente y que sirven a su vez como viaducto para el transporte de las traveses faltantes del propio claro y de los subsecuentes, entonces el viaducto de armaduras se lanza al claro siguiente.

El procedimiento de transporte y montaje de traveses es el siguiente:

En el acceso al puente se erigen 2 grandes pórticos formados por torres, sobre las que se instala un cabezal. Los pórticos se espacian a una distancia tal, que puedan alojarse entre ellos las traveses de concreto con sus dispositivos de izado y transporte, en el sentido de su mayor longitud.

Entre los pórticos se colocan las armaduras, con su cuerda inferior coincidiendo con el nivel superior de los apoyos del puente; estas armaduras se apoyan en los soportes extremos y en el apoyo intermedio.

El sistema de izado de las traveses se describe a continuación: Las traveses construidas en un patio de colado se corren transversalmente hacia el centro del pórtico, el cual es el -



(FIG. No. 8) DISPOSITIVO DEL PORTICO DE IZADO DE TRABES,
DEL PATIO DE FABRICACION AL VIADUCTO DE --
TRANSPORTE.

sitio de izado. Este corrimiento transversal se realiza con el siguiente procedimiento.

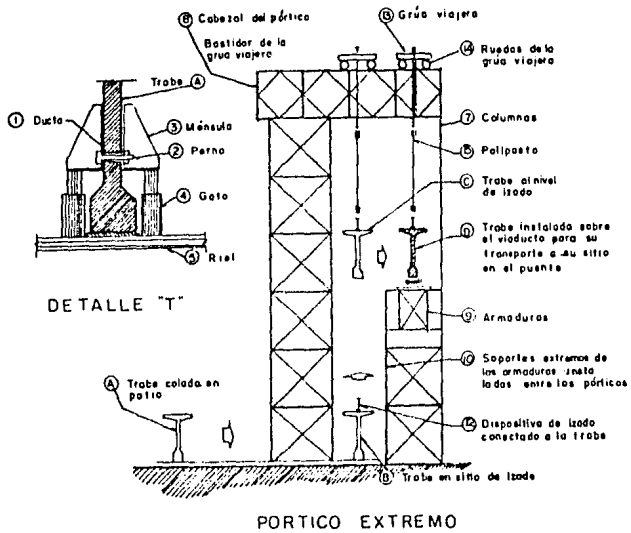
En el detalle "T" de la Figura No. 9, se muestra como los extremos de las traveses se dotan con unos ductos, a fin de sujetar en ambas caras de la base de las traveses las ménsulas, mediante los pernos; bajo estas ménsulas se instalan unos gatos, los cuales, al ser operados, levantan las traveses del nivel en que fueron coladas, con el objeto de introducir bajo sus extremos unos rieles. Una vez instaladas las traveses sobre los rieles, se corren sobre ellos, empujándolas con gatos, o bien, jalándolas mediante malacates de mano tipo ti--ford. En la base de las traveses se colocan previamente para su transporte transversal, placas de acero engrasadas.

Las traveses una vez en su posición de izado, se conectan en cada uno de sus extremos de unos dispositivos conectados a la traveses los cuales se sujetan del polipasto, que pende de la grúa viajera.

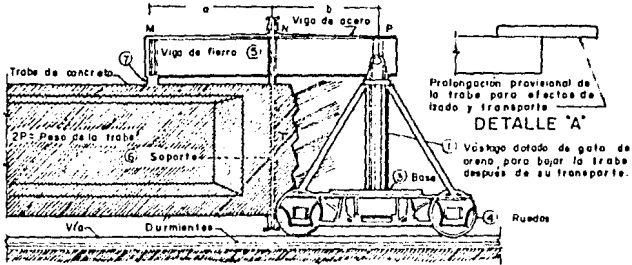
Esta grúa corre sobre el cabezal mediante unas ruedas, -- con lo cual la traveses se iza al nivel del viaducto, corriéndola transversalmente para instalarla sobre el mismo para transportarla a su sitio en el puente.

Para transportar las traveses, se emplea el dispositivo que se ilustra en la Fig. No. 10, consiste esencialmente de un -- truck de cuatro ruedas, sobre el que sienta un vástago que propiamente es un gato de arena. Sobre éste vástago, se apoya una viga de acero, cuyo extremo sienta en la traveses de concreto mediante una calza. En el punto (N) se conectan dos tensores que soportan la traveses de concreto.

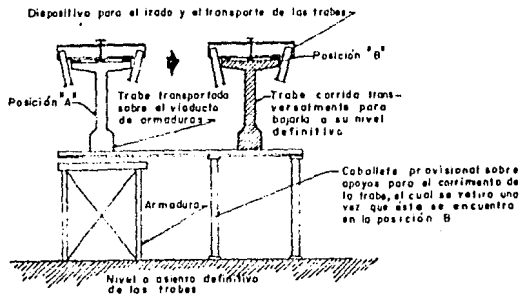
En tales condiciones, el peso de la traveses de concreto, -- reacciona en los dos dispositivos de los cuales queda suspendida, transmitiendo a cada uno de éstos la mitad de su peso.



(FIG. N° 9) SISTEMA DE IZADO DE LAS TRABES



(FIG. N° 10) DISPOSITIVO PARA EL TRANSPORTE DE TRABES



(FIG. N° 11) MANIOBRA DE CORRIMIENTO DE LA TRABE PARA BAJARLA A SU NIVEL DEFINITIVO

Como la viga de fierro apoya asimismo, en la trabe de concreto y se sujeta a la misma con los soportes, puede conside--rarse ésta viga como una prolongación de la trabe de concreto, con lo que el dispositivo del transporte trabaja simplemente - con una carga vertical, no teniendo tendencia a girar.

La finalidad de que el vástago funcione no solo como apo--yo de la viga, si no además como gato de arena, tiene por obje--to bajar la trabe de concreto al nivel de la vfa y retirar el truck de la trabe, a fin de apoyar ésta en otro gato de arena.

Como el nivel a que se transportan las trabes de concre--to, es el de la parte superior de las armaduras del viaducto--que sientan directamente sobre los apoyos del puente, resulta que la trabe de concreto, una vez transportada a su lugar de--colocación, queda a un nivel superior del de la corona de la--pila donde debe apoyar, haciéndose necesario efectuar una ma--niobra para bajar las trabes . Esta maniobra consiste en lo - siguiente: Fig. No. 11 ; se instala un caballete provisional - de acero, sobre cada una de las pilas que limitan el claro de la trabe en procesode transporte, de tal forma que pueda co - rrerla transversalmente sobre el mismo y apoyarla en el pis -- tón de un gato de arena, mediante la viga de acero anclada a la trabe de concreto del dispositivo de transporte.

Al bajar el pistón del gato de arena, baja consecuente - mente la trabe de concreto, hasta llegar al nivel deseado. Pa--ra dejar los gatos de arena en condiciones de ser operados - nuevamente, se levanta el pistón y se llena de arena el chásis a través de los orificios de carga.

Posteriormente esta viga sirve como viaducto para colocar

la trabe correspondiente al mismo claro para correr nuevamente el viaducto provisional metálico.

MONTAJE DE TRABES USANDO OBRA FALSA LANZADA.

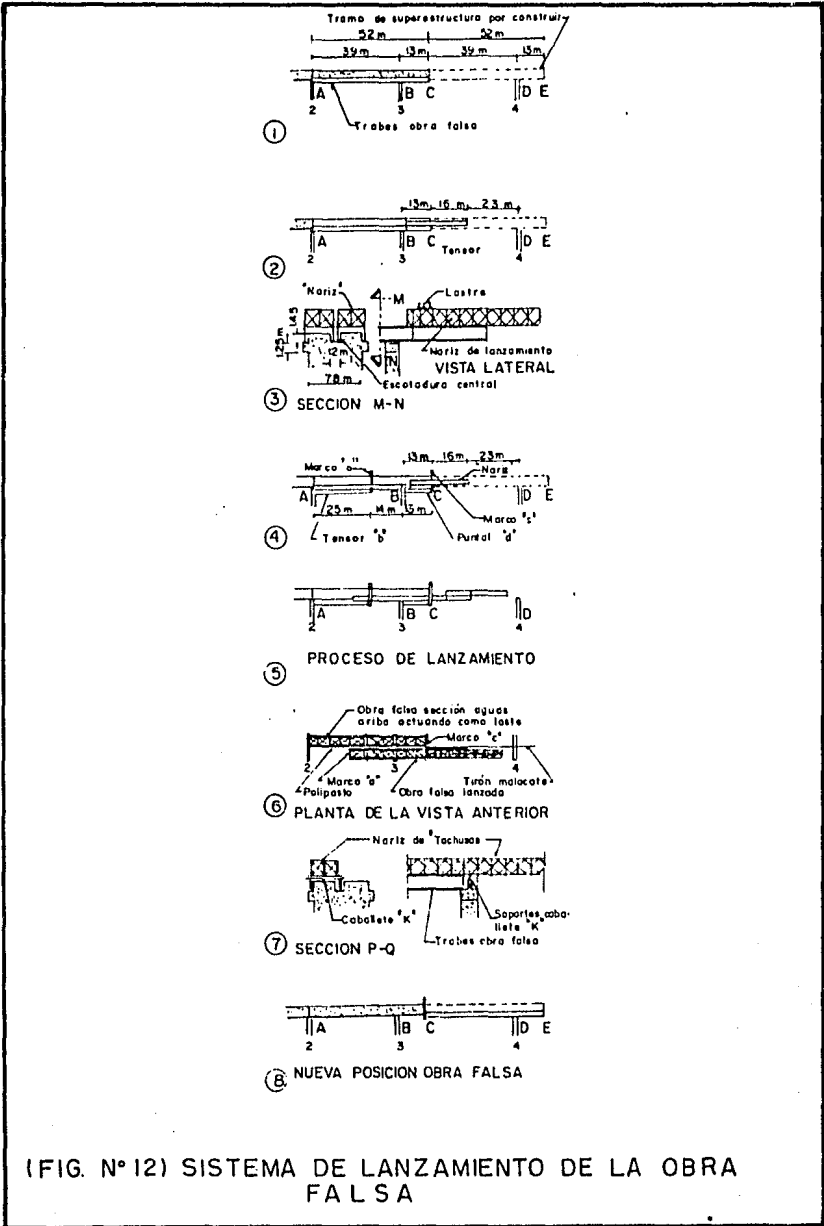
La obra falsa lanzada consiste en traveses de acero que se lanzan desde los accesos hasta que se apoyen en las dos pilas del claro a colar. Estas traveses que salvan el claro sirven como cimbras laterales para colar las traveses de concreto. Una vez fraguadas estas traveses se realiza el tensado y se lanzan nuevamente las traveses de acero al siguiente claro, para seguir con este procedimiento.

En la Fig. 12 se ilustra este procedimiento constructivo-realizado en el Puente San Juan de Ferrocarril México-Querétaro.

El puente San Juan se localiza en el Kilómetro 192 del nuevo ferrocarril de doble vía entre México y Querétaro; salva el Río del mismo nombre y se construyó en la presa de San José. El puente cuenta con 3 claros de 52m. y 3 de 39m.

El tramo 1-2 anterior A B C que se ilustra en esta figura se construyó sobre las traveses que se lanzaron desde las terracerías de acceso, auxiliándose en esta maniobra con un caballete erigido en la proximidad del estribo.

El tramo A B C se construye sobre traveses de acero de 52m; de estos, 39m. se apoya en las pilas 2 y 3 y vuelan 13m. entre las pilas 3 y 4. Construido el tramo A B C, las traveses se lanzan 39m. para que apoye en la pila 4, y luego 13m. más para estar en condiciones de soportar el siguiente tramo de la superestructura continúa C.D.E.



(FIG. N° 12) SISTEMA DE LANZAMIENTO DE LA OBRA FALSA

Las traves metálicas de la obra falsa son 4, dos para cada una de las superestructuras gemelas, tiene como se dijo 52m. de largo y 2.16m. de peralte; Por razones de equilibrio únicamente podrían lanzarse una longitud menor que la mitad de su longitud; es decir más o menos 26m. Siendo el claro por salvar de 39m. a cada juego de traves se le adoptó una nariz en voladizo de 16m. de largo. Con este artificio el lanzamiento se reduce a 23m., satisfaciéndose así las condiciones de equilibrio de las traves.

Cada nariz está formada por 3 líneas de armaduras, integradas a su vez por 7 tableros de 1m. en el lanzamiento de los últimos tableros de la nariz el peso de las secciones sobre las traves es inferior al de las lanzadas, para evitar esta condición de desequilibrio se instalaron un lastre y un tensor, y como vía de seguridad se soldaron a las traves que forman la obra falsa.

El contraventeo que conecta transversalmente las armaduras de las 3 que integran cada nariz, sostiene la línea intermedia.

Hecho lo anterior se instalan los marcos "a" y "c", el primero a 25m., del apoyo 2, distancia mayor que la necesaria para que la nariz, una vez lanzadas las traves, asiente en el apoyo 4o. el marco "a", se fija mediante un tensor "b", a la pila 2, y a "c" a 13m. del apoyo 3, mediante un puntal. Tanto el tensor como el puntal sirven para que durante la maniobra del lanzamiento no se desplacen los marcos por efecto de la fricción de las viguetas.

Al impulsar un juego de traves, las simétricas sirven de muertos; para esto entre una y otra se instala un polipasto con el número de hilos necesarios, y así, con el simple tirón de un malacate de 3 ton., es posible efectuar la maniobra. Cada juego de traves pesa 80 ton. y cada línea de las armaduras

de las narices 100 kg/m.

Efectuado el lanzamiento con este sistema, después que un par de traveses al lanzar, hace que la nariz siente en la pila 4, se invierte la posición del polipasto para que las traveses ya lanzadas sirvan de muerto al par simétrico, que se lanza en igual forma hasta que su nariz siente en la pila 4.

Evidentemente, durante estas maniobras, al desplazarse las traveses durante el lanzamiento, deben irse retirando las piezas del puente conforme van llegando a la pila 3, y ahí deben pasarse delante de esta pila hacia el claro 3-4. Asimismo es preciso bloquear un juego de traveses mientras se lanza el otro, ya que ambos pesan los mismo.

Para finalizar, sobre la pila 4 se instala un caballete, que sirve de apoyo al patin inferior de la nariz, el cual está a un nivel más alto que el cabezal. Cuando al lanzar el conjunto, las traveses llegan a sentar en las ménsulas y la escotadura de la pila 4, se retiran los soportes del caballete, a fin de que las traveses continúen avanzando hasta la posición indicada en la última figura.

De ahí en adelante se repite la secuencia hasta llegar al tramo de cierre.

SISTEMA DE EMPUJE

Este sistema consiste en fabricar la superestructura en los accesos del puente y se lanza mediante gatos de dovela en dovela utilizando una nariz. De esta forma, la primera dovela que se fabrica en el patio de prefabricación su posición final, será la más alejada de dicho patio.

A continuación se describirá el procedimiento constructivo del Puente Tula, que es el primero de México que se empleó

el sistema de empuje para su construcción.

El Puente Tula del Ferrocarril México-Querétaro, se resolvió en doble sección, cajón continuo de concreto preesforzado, de cuerpos independientes que sientan en apoyos comunes, los cuales fueron construidos con el sistema de empuje, denominado también de lanzamiento por incrementos sucesivos, que se describe a continuación.

En uno de los accesos del puente, como se observa en la Figura No. 13, se instala un patio de prefabricación en el que se habilitó una plataforma de trabajo para la construcción parcial y simultánea de dos dovelas contiguas, denominadas dovela (2) y dovela (3).

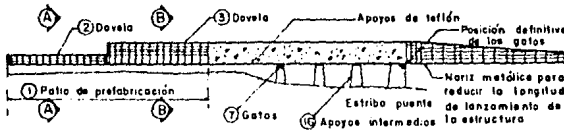
En la dovela (2), se cuela la losa inferior y parte de las almas, para lo cual su plataforma de trabajo cuenta con una cimbra metálica y mecanizada.

Ya efectuado el descimbrado, la dovela (2) pasa a ocupar el sitio de la dovela (3), mediante la acción del sistema operativo del empuje que se describirá más adelante.

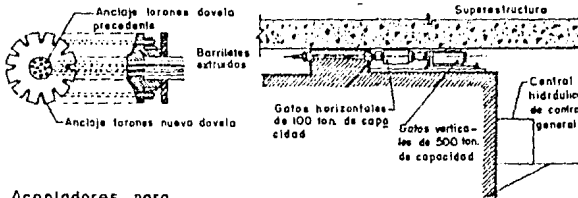
Como se infiere de lo anterior, fue necesario contar con la losa inferior y parte de las almas debidamente estructuradas, a fin de que pueda sentar ésta en 8 apoyos, los cuales serán elementos básicos para el empuje de la dovela (3), una vez que esté totalmente integrada, para lo cual en estos apoyos se instalaron placas de teflón.

A la primera dovela colada y preesforzada, se le adicionará una nariz metálica aligerada, la cual se conecta a dicha dovela, mediante cables de preesfuerzo instalados en los niveles superiores e inferiores de la misma.

La finalidad de esta nariz es reducir la longitud del voladizo de la superestructura, durante las maniobras de lanzamiento.

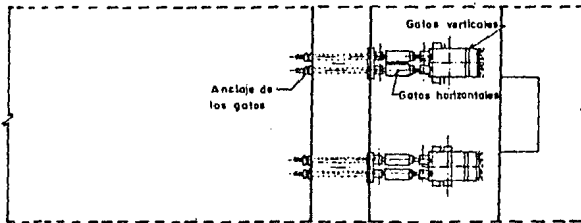


Vista Gral. de la Maniobra



Acopladores para Prolongar Cables.

Sistema de Empuje



(FIG. N°13) PROCEDIMIENTO GENERAL DE LA MANIOBRA DE EMPUJE

SISTEMA DE LANZAMIENTO

Entre la dovela (3) y el estribo del puente, hay apoyos intermedios provisionales, tanto para apoyar a la estructura como para instalar provisionalmente los gatos para efectuar las primeras etapas de la maniobra, antes de ser colocados en su posición definitiva sobre la corona del estribo del puente.

Todos los apoyos de deslizado tienen 1.4 m. en el sentido del puente y 0.80 m. en el transversal y están revestidos con una lámina de acero inoxidable de 1.4 m. x 0.4 m. disponiendo de un espacio libre con respecto a la cara exterior de las dovelas, de 0.3 m. a fin de instalar en éste una gufa de acero fundido para impedir cualquier desviación lateral de la estructura durante el proceso de empuje.

Sobre estos apoyos se instalan 3 placas de teflón de 25 cm. x 25 cm., que en su cara superior cuenta con sendas placas de neopreno. Las placas de acero inoxidable se revisiten de una grasa denominada silición.

Los gatos que efectúan la operación de empuje son dos de acción vertical, cada uno con capacidad de 500 Ton., los horizontales que actúan en cada uno de éstos son dos con capacidad de 100 Ton. y carrera de 40 cm. y están anclados en uno de sus extremos a una ménsula o diafragma estructurada que integra parte del apoyo donde éstos actúan. Su otro extremo está articulado al gato vertical respectivo.

La función de los gatos verticales, que tienen una cabeza superior de 40 cm. x 40 cm., con su superficie corrugada, es la de actuar contra la estructura, en forma tal que esta acusa una contraflecha del orden de 15 mm., la cual se anula a los 11 m. a ambos lados de los gatos; en esta forma se crea un estado de adherencia entre los gatos y la estructura de tal magnitud, que al accionar los gatos horizontales, para repe-

tir esta operación en forma sucesiva, se logra lanzar la estructura con estos incrementos de 40 cm. un total de 17.3 m. en un término de 3 hrs.

Durante cada empuje, al avanzar la estructura una de las 3 placas de teflón es expulsada en cada apoyo de deslizado y luego es introducida de nuevo, o sea, que siempre en cada apoyo estará operando como mínimo dos placas de teflón.

Al llegar la nariz metálica a cada una de las pilas acusa una flecha del orden de 6 a 8 cm., la cual es corregida por un gato de 40 Ton., apoyado en la pila.

Cabe hacer mención que en el inicio de la operación de empuje de la nariz se encuentra en el patio de prefabricación, por lo regular atrás de los gatos verticales. Estos por lo mismo se instalan provisionalmente atrás del estribo, y mediante 4 barras roscadas, jalan a la nariz, y cuando ésta pasó los gatos, lo hacen con la estructura, ya que para llevar a la práctica el empuje con los gatos verticales, debe gravitar sobre éstos parte del peso de la estructura de concreto.

Las barras se conectan a los gatos horizontales; tanto en la nariz como en la primer dovela, se prevén anclajes adecuados para sujetar a las barras.

Al avanzar en esta operación 40 cm., las barras sobrepasan de los gatos, y mediante tuercas se hace el ajuste necesario para repetir la operación, hasta que, como se dijo, la estructura de concreto apoye en los gatos verticales. Una vez llegada dicha estructura al estribo, se cambia a éste el sistema de gatos de empuje.

CAPITULO VI

DOBLE VOLADIZO

6.1 GENERALIDADES.

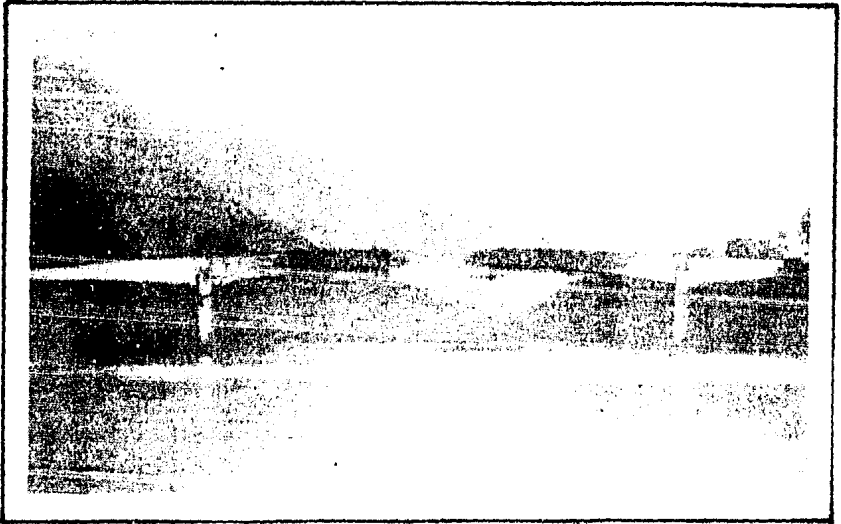
La turbulencia de la corriente del Rfo Dopeixie, cercano a la ciudad de Herval (Brasil), obligó al Ingeniero Aleman Baumgarten constructor del puente carretero que cruza dicho rfo, a no utilizar la cimbra tradicional, de esta forma innovando el método de construcción en voladizo, avanzando en tramos de 1.5m., para esto empleó un encofrado de madera; el armado longitudinal de 45mm. de diámetro se fue prolongando en pequeños tramos.

Así de esta forma el 30 de Octubre de 1930 se cierra la abertura central de 68.5m. del citado puente. Un día especial para la historia de la construcción de puentes de concreto armado, pues con ello, no solamente se ha alcanzado librar el claro más grande hasta entonces para puentes de concreto armado, si no que se consigue también el primer montaje en voladizo. Sin embargo, esta forma de construcción solamente se repitió una vez; en 1937 en Inglaterra.

El montaje en voladizo, tiene principalmente la finalidad de evitar cimentaciones auxiliares difíciles, manteniendo así libres las vías de comunicación, principalmente de navegación, incluso durante el período de la obra. Además de esto hay que evitar el costoso y peligroso montaje de la cimbra para absorber las cargas del concreto y también alcanzar un ritmo continuo de construcción con la constante repetición del montaje de cada tramo.

Las superestructuras construidas por el procedimiento en 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 preesfuerzo, dovelas cuya longitud es por lo general de 3 a 4m, a cada lado de la pila



(FIG. No.1) MONTAJE EN VOLADIZO DEL PUENTE
SOBRE EL RIO DO PEIXE (BRASIL)

La construcción debe proseguir simétricamente, para conservar el equilibrio de los dos volados.

La aplicación de este procedimiento conviene especialmente cuando se trata de franquear cursos de agua permanentes, en algunos casos alojados en barrancas profundas, con pilas de gran altura.

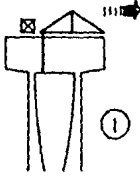
Su construcción se hace por etapas cortas y repetidas que requieren poca mano de obra, aunque sí altamente especializada, y su avance es independiente de los regímenes de las corrientes de agua.

Por otro lado, el control y la supervisión son sencillos y sistemáticos, por las dimensiones reducidas de los frentes de ataque.

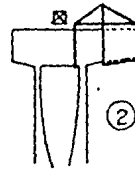
Existen otros métodos para evitar obras falsas desplantadas sobre el terreno, como son: Utilización de traveses prefabricadas, armaduras apoyadas sobre las pilas, que permiten colar tramos enteros de la superestructura y recientemente, el sistema de empuje, sin embargo, todos éstos métodos sólo son económicos para una gama de claros que van más o menos de 30 a 50m., para dimensiones mayores el peso de las traveses y el de los aparatos que sirven para su construcción, se vuelve muy considerable para ser rentable.

El campo propio para la construcción de voladizos es para claros de más de 50m., llegando por lo regular hasta 120m.

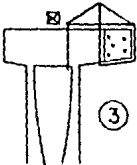
El procedimiento constructivo se esquematiza con las necesarias anotaciones en la (Fig. No. 2). Tanto el montaje de los carros, como la alimentación del concreto, se hacen con torres grúas en pilas de gran altura, o con grúa; el concreto se suministra por lo regular con bomba.



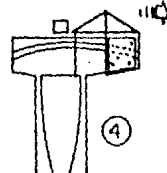
La primera armadura se monta sobre la dovela colada con obra falsa convencional



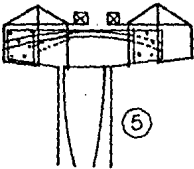
La armadura avanza para el colado de la primer dovela



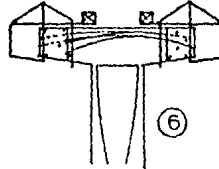
Primera dovela en voladizo ya colada.



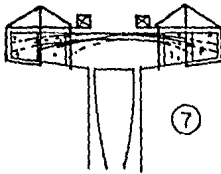
Una vez que el concreto alcanza la resistencia se tensionan los cables y avanza la armadura.



La segunda armadura cumple con las fases de construcción hasta las figuras 3 y 4 mientras tanto la primera no se utiliza.



Cuando la segunda armadura está en igual posición que la primera, con respecto al eje de la pila las dos se empiezan a utilizar simultáneamente.



Todas las operaciones indicadas en las figuras 5 y 6 son hechas en forma simultánea, hasta concluir con todos los colados sucesivos en voladizos necesarios para integrar la simetría de la superestructura.

(FIG. N°2) ESQUEMA DEL PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE SISTEMA DOBLE VOLADIZO

Como la construcción se realiza a partir de las pilas, es necesario que el equilibrio de la obra se conserve constantemente: 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 su simétrica. Por lo tanto, es necesario que la superestructura se ancle sobre la pila durante la construcción para evitar su volteamiento. Si este empotramiento no se ha previsto como definitivo, se realiza entonces provisionalmente en una de estas formas:

1).- Instalando en ambos lados de la pila estructuras provisionales que den apoyo temporal suficiente a la superestructura.

2).- Mediante calzas provisionales en los bordes de la pila y fijando a ésta la superestructura por medio de un preesfuerzo vertical provisional.

Generalmente la construcción de éstas obras se programa para una dovela por semana, lo cual exige que el concreto alcance el 80% de la resistencia de proyecto a las 72 hrs., para poder efectuar el preesfuerzo. Para lograr esto, se requiere utilizar un aditivo que acelere la resistencia, y otro fluidizante que permita aumentar los revenimientos del concreto de 10 cm. a 12 cm., para su eficiente colocación en las secciones de las dovelas, que son relativamente delgadas y con fuerte densidad de acero de refuerzo.

Al terminar la construcción de un voladizo se desmontan los dispositivos, para lo cuál y con el fin de lograr una mayor seguridad y evitar impactos o desequilibrios de carga en los extremos, se corren hacia atrás y se desmontan lo más cerca posible de la pila. Con esto queda concluída la construcción de la superestructura empleando el método en doble voladizo. Posteriormente se detallará el procedimiento de construcción de la dovela sobre pila y el uso del carro móvil de

colado.

La sencilla aplicación de este procedimiento se extendió rápidamente, convirtiéndose en el procedimiento estandar para puentes de concreto pretensado de grandes claros en todo el mundo, combinado en partes con otros métodos de construcción.

Entre los primeros puentes en el mundo construidos con este sistema están los siguientes:

PAIS	NOMBRE	CLARO PRINCIPAL (m.)
ALEMANIA	Worms	181
	Mosela de Coblenza	123
	Sobre el Río Main	130
AUSTRIA	Lustenau	80
NORUEGA	Tromso	80
SUECIA	Alnosundet	134
JAPON	Nada	70
	Nagoya Ohasi	176
GRECIA	Megdova	86
	Tatarna	196
HOLANDA	Lisell	150.5
Italia	Viadotto Nervi.	100
	Viadotto Stupino	120

A su vez, en México, los puentes construidos con este sistema son:

LOCALIZACION	NOMBRE	LONG. TOTAL (m.)	CLARO MAX. (m.)
F.C. México-Ver.	Azumbilla.	115.7	40.9
Creel-Cuachochoic.	Enilio Broniman	82.5	54.5
Tamuín S.L.P.	Tampaón	180.0	60.0

LOCALIZACION	NOMBRE	LONG. TOTAL (m.)	CLARO MAX. (m.)
Coatz-Villa Hermosa	Samaria II	274.0	68.0
Tijuana-Matamoros	Sn. Juan Camargo	175.0	72.0
Costera del Golfo	Tlacotalpan	593.0	72.0
Cd. Aleman-Sayula	Sn. Juan Evangelis ta.	114.0	72.0
México-Veracruz	Vaquerías	224.0	74.0
México-Tuxpan	Totolapa	225.0	74.0
Coronido-Las Tru- chas,	Los Chivos	174.0	74.0
Urbano México, D.F.	Bosques de Las Lomas	212.0	78.0
Cd. Alamo-B. Juárez	Alamo	401.0	80.0
Coatz.- Pto. Juárez	Carrizal	174.0	84.0
F.C. México-Veracruz	Metlac	430.0	90.0
Costera del Golfo	Tuxpan	321.0	92.0
Costera del Golfo	Grijalva II	238.6	95.5
Costera del Golfo	Ing. Antonio Dova li.	1170.0	288.0
Costera Golfo	Tampico	1543.0	360.0

6.2 CONSTRUCCION DE LA DOVELA SOBRE PILA.

Para iniciar la construcción de la superestructura por el método de doble voladizo utilizando carro móvil de colado, se debe tener terminada la primera dovela sobre pila.

Esta dovela es una parte de la superestructura que va empujada a la corona sobre pila. La obra falsa que se utiliza para la construcción de la primera dovela sobre pila, depende de diversos factores; que la altura de las pilas sean excesivamente grande, que se tenga una corriente permanente, que no se quiera interferir una vialidad, etc., en nuestro país los métodos más usados para la construcción de esta dovela son los siguientes.

6.2.1. OBRA FALSA Y CIMBRA TRADICIONAL.

El procedimiento constructivo se inicia cuando se tiene terminada la subestructura. Primero se procede a levantar la obra falsa, si el terreno es malo, se apoya sobre rastras de concreto con baja resistencia a la compresión, con el fin de que la madera no se apoye directamente sobre el terreno natural, evitando de esta forma posibles asentamientos al momento de soportar el peso propio de la obra falsa y el peso de la dovela sobre pila. Este procedimiento puede observarse en la (Fig. No. 3). Correspondiente al "Puente Tampico".

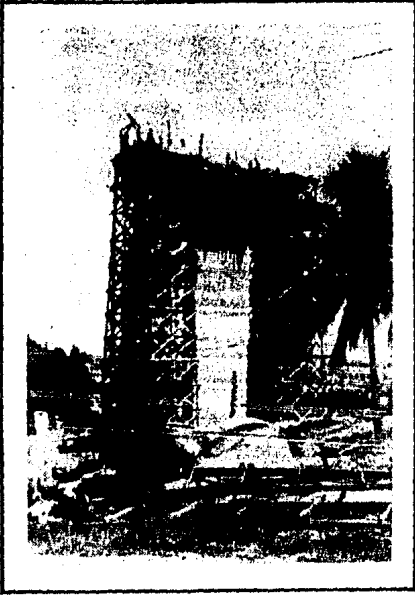
6.2.2. OBRA FALSA METALICA.

Generalmente esta estructura va fija en la parte superior del cuerpo de la pila y troquelada a base de barras de acero. Esta cimbra se utiliza cuando no es posible el uso de la cimbra tradicional de madera, además de abatir considerablemente el costo.

Por ejemplo, para el colado de la dovela sobre pila, del puente Coatzacoalcos II, "Ing. Antonio Dovalf J.", se empleó obra falsa a base de ménsulas en celosía anclada al cuerpo de la pila (Fig. No. 4). Este colado se realizó sin los voladizos laterales de la losa superior. Estos voladizos se colaron posteriormente con cimbra suspendida mediante un sistema de viguetas apoyada en la losa superior ya colada.

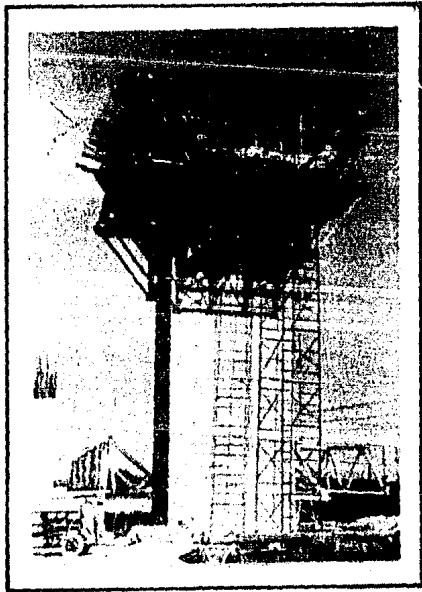
El procedimiento de izado de la obra falsa es convencional, dependiendo de la altura de la subestructura, se realiza por medio de torres grúa o por grúas móviles.

En algunos casos éstos sistemas no pueden aplicarse, como es el caso del puente metlac del F.C. México-Veracruz; que debido a la excesiva altura de las pilas, no se podía usar ménsulas ancladas sobre el cuerpo de las pilas, y menos aún obra falsa desplantada del terreno natural.



(FIG. No. 3) UTILIZACION DE CIMBRA TRADICIONAL EN EL COLADO DE LA DOVELA SOBRE PILA (PUENTE TAMPICO).

(FIG. No. 4) USO DE CIMBRA METALICA PARA EL COLADO DE LA DOVELA SOBRE PILA (PUENTE - ING. ANTONIO DOVALI J.).



El procedimiento seguido, fue instalar los moldes de la do vela sobre un sistema de armaduras, las cuales fueron izadas -- por cuatro cables operados por gatos hidráulicos, los cuales se colocan en la parte superior de la pila para que los cables vayan elevando las armaduras con los moldes, los cables al ir subiendo se van enrollando en unos tambores:

Las armaduras hacen contacto con la pila mediante unas llantas. Para facilitar la maniobra de izado. Además, éstas armaduras están construidas en tal forma que se pueden traslapar sus piezas por medio de gatos hidráulicos horizontales, para poder ir ajustándose a la pila, ya que ésta es de sección variable.

Finalmente, ya en su posición definitiva, las armaduras, - mediante unas pequeñas columnas, se apoyan en unas ménsulas metálicas que se anclan al cuerpo de las pilas, mediante barras - de presfuerzo que atraviezan transversalmente a la propia pila.

6.3 MONTAJE Y FIJACION DEL CARRO MOVIL.

Una vez realizado el colado de la primera dovela sobre pila, se procede al montaje del carro móvil para iniciar el colado de las dovelas en voladizo.

Al llegar las estructuras del carro de colado a la obra, se realiza la selección de piezas, para separarlas y membretarlas. Posteriormente cada una de las partes de los dispositivos se pasa a la siguiente fase, consistente en la presentación de los carros. Esta etapa se procura realizar en el área de trabajo, -- cuidando de tal manera que la presentación se realice con la - ventaja de que no sea necesario desplazar a la estructura hacia el lugar de izado para iniciar el montaje.

Los carros móviles consisten en estructuras metálicas a base de viguetas. Este dispositivo está construido de manera que la mitad del carro descansa sobre el tablero y la otra quede en

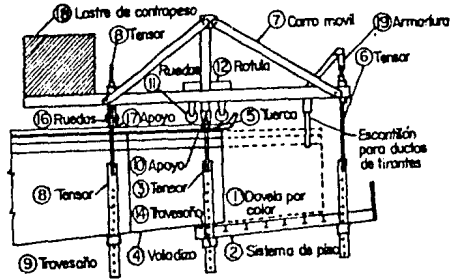
voladizo, alojando los moldes y plataformas de trabajo necesarios para el colado de la dovela y asimismo permitir ejecutarlas maniobras necesarias.

Esta estructura una vez sujeta sobre el elemento ya construido es capaz de soportar su peso propio y el peso de la dovela por construir. Su montaje se hace en secciones mediante torres grúa o grúas móviles, dependiendo de la altura que se tenga. El control de la nivelación de estos elementos es muy importante, ya que la exactitud de estas medidas depende la geometría final de la obra. Para esto es 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 plazo del concreto, etc.

La estabilidad y funcionamiento del carro móvil durante el colado de una dóvela y después de él se detallan en la (Fig. No. 3).

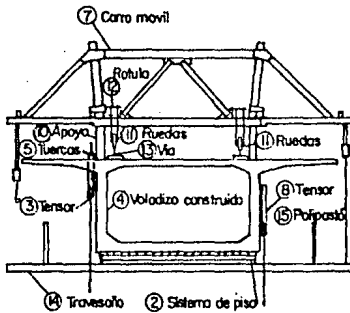
El peso de la dovela por colar, se distribuye mediante un sistema de piso en dos soportes: El tensor (3) que se ancla directamente en el voladizo ya construido mediante una tuerca, así como el tensor (6) que pende directamente del carro móvil. La acción de este tensor tiende a hacer girar el carro, lo que se impide con la sujeción de éste al voladizo mediante un tercer tensor (8) y el travesaño, que trabajan conjuntamente con el apoyo (10). Este apoyo funciona como articulación conven-cional, 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 dóvela, du-



VISTA LATERAL

CARRO MOVIL DE COLADO



SEMI SECCIONES
IZQUIERDA DERECHA

(FIG. N° 5) FUNCIONAMIENTO DEL CARRO MOVIL DE COLADO

rante su construcción.

Ya construida y alcanzada la resistencia especificada, se tensan los cables longitudinales, y a continuación los cables transversales alternando su anclaje. Con lo anterior la dovela construida queda integrada al voladizo 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 (FIG. No. 5), se observa como el carro móvil sienta en el voladizo - en el plano de los tensores (3) - mediante el apoyo (10), mientras que las ruedas articuladas al carro con una rótula, están se paradas de su vía de rodamiento. Mediante la acción de gatos se retira el apoyo en cuestión para que las ruedas sienten en la vía. También con gatos se suelta el tensor (3) de manera que cuelgue su travesaño. El cuál queda a su vez colgado del carro móvil, mediante un polipasto.

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

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

6.4 COLADO DE DOVELAS:

Una vez anclados los dispositivos móviles, se sujeta la cimbra para posteriormente introducir en ésta el acero de refuerzo previamente habilitado, los ductos para el acero de refuerzo y los elementos que se van a utilizar para anclar los preesfuerzos.

Teniendo todo preparado se procede a la realización del

colado, empleando concreto elaborado en planta y colocándolo mediante bombas y grúas, teniendo que realizarse en forma simétrica a ambos lados del voladizo para mantener el equilibrio e la superestructura.

El colado de las dovelas se hace de la siguiente forma:

FASE 1.- Colado de la losa inferior, así como los arranques de las almas.

FASE 2.- Colocación de la cimbra interior y colado de las almas.

FASE 3.- Colado de la losa superior.

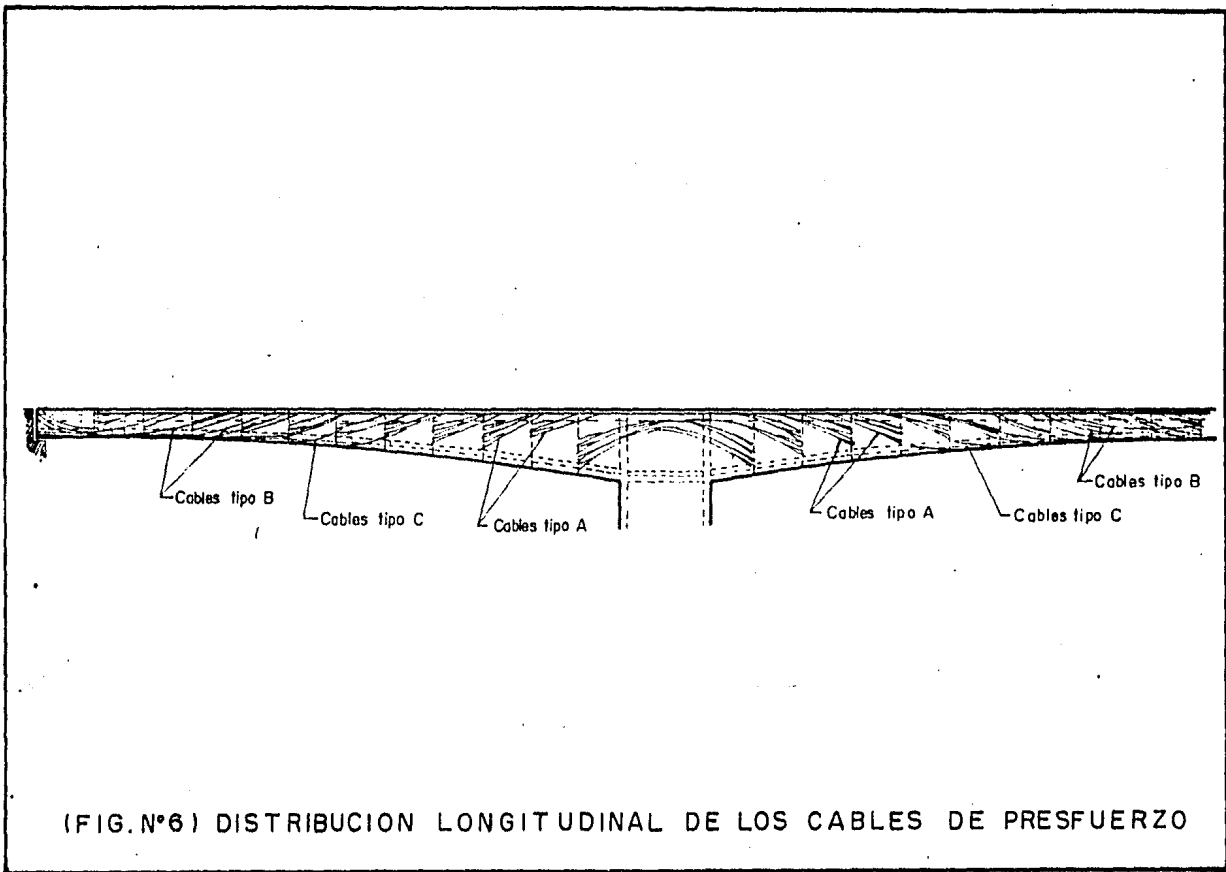
Las FASES 2 y 3 pueden hacerse en una sola, e inclusive se puede colar toda la sección en forma monolítica.

6.5 TENSADO DE LOS CABLES DE PRESFUERZO.

Una vez fraguado el concreto, se realiza el tensado de los cables. La finalidad del tensado consiste en que la dovela que se acaba de colar, se amarre con las que ya se tienen colocadas, para que ésta última pueda resistir el peso del carro móvil y el peso de la nueva dovela a colar.

Los cables para el presfuerzo longitudinal deben tener suficiente capacidad para evitar la utilización de un gran número de ellos, ya que de lo contrario se dificulta su colocación y el colado de la dovela.

Deben tomarse precauciones especiales para dar la resistencia necesaria al concreto bajo el anclaje, (Grandes espesores de alma, armados de repartición de esfuerzos, etc.), debido a los fuertes esfuerzos que se provocan por la concentración de la carga al tensar.



(FIG. N°6) DISTRIBUCION LONGITUDINAL DE LOS CABLES DE PRESFUERZO

El cableado clásico comprende 3 grupos de cables como lo muestra la (Fig. No. 6).

Los cables de tipo "A", destinados a realizar el presfuerzo de los volados durante la construcción y a resistir los momentos negativos en la zona de las pilas, 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 son levantados para salir en lo alto de las almas.

Un tercer grupo de cables 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 o se levantan como los precedentes.

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 enfilado fácil.

Una vez realizado el presfuerzo, se repite el ciclo tantas veces como dovelas por colar, cuidando en cada ocasión como ya se dijo anteriormente, de un control muy estricto en cuanto a niveles y posición, sobre todo en la medida que el voladizo avanza.

CAPITULO VII

ATIRANTADOS

7.1 GENERALIDADES.

Algunos de los puentes de concreto de grandes claros, son los que por su procedimiento de construcción, llamamos en doble voladizo, los cuales fueron tratados ampliamente en el capítulo V de esta tesis.

Una reciente aplicación para la construcción de puentes en voladizo, es la incorporación de los cables atirantados con los cuales se soportan las dovelas.

Se ha demostrado que es económico llegar a construir puentes de dovelas con cables atirantados con claros hasta de 400 m.

Los puentes que se sostienen por medio de cables de acero de alta resistencia como elementos principales estructurales, los distinguimos en puentes suspendidos o puentes atirantados.

Los puentes atirantados tienen cables inclinados que sostienen directamente al tablero proporcionando soportes relativamente rígidos en varios puntos del claro.

En la actualidad los puentes atirantados presentan un sistema tridimensional consistente en: vigas principales, cables atirantados, tableros ortotrópicos y mástiles trabajando a compresión. La principal característica de estas estructuras es la participación total de los elementos transversales en el trabajo del sistema longitudinal, lo que permite un aumento considerable en el momento de inercia, la reducción de la sección de las vigas y abatimiento en la cantidad de acero.

Arreglo de los cables:

De acuerdo al arreglo longitudinal de los cables, el atirantado se puede clasificar en uno de los cuatro sistemas siguientes:

1.- Sistema radial o convergente.

En este sistema todos los cables están dirigidos a la punta del mástil de sustentación. Estructuralmente, éste es el mejor sistema, ya que permite alcanzar la máxima inclinación de los cables sobre la horizontal y de esta forma, una mejor cantidad de acero. Los cables toman la componente máxima de la carga viva y muerta, mientras que la componente axial menor es tomada por la superestructura.

2.- Sistema en paralelo o arpa.

Los cables se conectan al mástil en diferentes alturas y paralelos entre sí. Estéticamente es un sistema preferido sobre los demás, pero provoca momentos flexionantes de gran magnitud en el mástil.

3.- Sistema en abanico.

Surgió como una modificación al sistema en paralelo. Las fuerzas de los cables son pequeñas, de tal manera que se pueden emplear cables muy simples.

4.- Sistema en estrella.

El sistema en estrella es, desde un punto de vista estético conveniente, pero contradice el principio de que los puntos de unión de los cables deben estar lo mejor distribuidos a lo largo de la viga principal.

7.2 POSICION DE LOS CABLES EN EL ESPACIO.

Son diferentes las posiciones que pueden adoptar los planos, en los cuales están colocados los cables en el espacio.

Tomaremos dos tipos de arreglos básicos. El sistema mono-planar y el sistema biplanar.

1.- Sistema mono-planar.

Este es un sistema en los puentes con un solo plano verti-

cal de tirantes a lo largo del eje longitudinal de la superestructura. Este arreglo requiere de vigas principales de sección cajón, con una considerable rigidez para evitar las deformaciones de la sección transversal debida a cargas excéntricas, (Fig. No. 1).

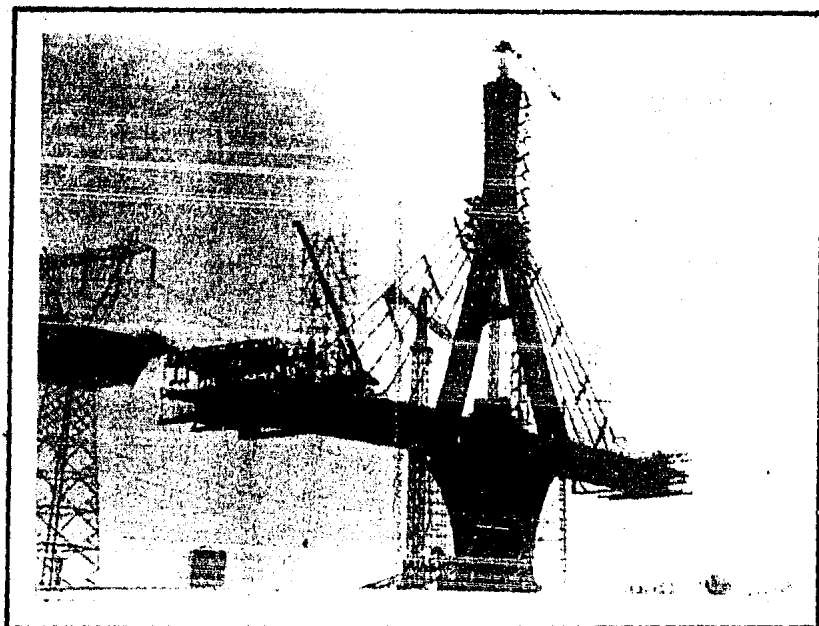
2.- Sistema biplanar

consiste en dos planos de tirantes pudiendo ser planos verticales o planos inclinados.

- a) Sistema biplanar con planos verticales. Pueden adoptarse dos diferentes alternativas al usar este sistema; los anclajes de los cables se pueden situar fuera de la estructura del tablero o pueden colocarse en el interior de las vigas principales

La primer alternativa es la mejor, ya que el área del tablero no se ve obstruída por la presencia de cables y mástiles, sin embargo, existe la desventaja de que la distancia transversal entre los puntos de anclaje en las almas de las vigas principales es grande y requiere de importantes cantilivers para -- transmitir el esfuerzo cortante y los momentos flexionantes a la estructura del tablero. Además, las pilas que sustentan a los mástiles deben ser más altas, por que en este caso dichos mástiles están desplantados en el exterior de la sección transversal del puente.

Cuándo los cables y los mástiles se encuentran dentro de la sección transversal del puente, el área ocupada no puede ser utilizada como parte de la superficie de rodamiento y sólo puede utilizarse parcialmente como paso peatonal. De esta manera - una parte del área del tablero se desperdicia y para compensarla se puede aumentar el ancho.



(FIG. No. 1) SISTEMA MONOPLANAR EN EL ARREGLO DE
LOS TIRANTES.

b) Sistema biplanar con planos inclinados.

En este sistema los cables van desde los bordes del tableto a un punto sobre la línea central del puente en un mástil en forma de "A". Uniendo los cables a la punta de este mástil se logra una gran seguridad contra oscilaciones debidas al viento, porque ayuda a evitar el peligroso efecto de torsión del tablero. Fig. No. 2.

Tipos de mástiles.

Podemos distinguir cuatro tipos de mástiles:

- 1.- Mástil en forma de portal trapezoidal.
- 2.- Mástiles Gemelos.
- 3.- Mástiles forma de "A" o "Y", invertida.
- 4.- Mástil sencillo.

Y existen tres posibles soluciones de acuerdo a la forma de soporte del mástil,

a) Mástil fijo a la cimentación.

En este caso se producen grandes momentos flexionantes en el mástil. Aunque se incrementa la rigidez de la estructura.

b) Mástiles fijos a la superestructura.

En el caso de los puentes construidos con secciones cajón los mástiles se fijan generalmente al tablero.

Bajo estas condiciones, es necesario no sólo reforzar el cajón, sino proporcionar apoyos muy resistentes. Además, éstos últimos deberán resistir las fuerzas horizontales adicionales debidas al incremento de la fricción en los apoyos.

c) Mástiles articulados en su base.

Por razones de tipo estructural, los mástiles deben estar

articulados en su base en el sentido longitudinal del puente. Esto reduce notablemente los momentos flexionantes en las torres y el número de redundantes, con el que se simplifica el análisis de toda estructura además, cuando se trabaja en suelos de baja calidad, se colocan articulaciones en los apoyos del mástil, que permiten la rotación, de manera que los momentos flexionantes no sean tomados por la cimentación.

El comportamiento de los mástiles dependerá de los detalles de la conexión con los cables, el tablero y la subestructura. Además de su peso propio, el mástil toma parte del peso total de la estructura transmitido directamente por los tirantes. Los mástiles deberán diseñarse como elementos sujetos a compresión y momento flexionante en ambas direcciones. Además se debe revisar el pandeo longitudinal y transversal que es función de la rigidez de los cables. Cuando se trate de mástiles gemelos se deberá considerar si están contraventados o no para el análisis del pandeo en la dirección transversal.



(FIG. NO. 2) MASTIL EN FORMA DE "A"
O "Y" INVERTIDA QUE FAVORECE EL ARREGLO
DE LOS TIRANTES DEL SISTEMA MONOPLANAR.

7.3 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA SUPERESTRUCTURA.

Debido a que en el país contamos únicamente con los casos de los puentes "Ing. Antonio Dovali Jaime" (Coatzacoalcos II) y El "Tampico" de la carretera costera del golfo como estructuras atirantadas, haremos referencia al primero mencionado, debido a que el puente Tampico se encuentra en construcción.

A).- SECUELA DE CONSTRUCCION

Primer Etapa: Con el sistema de construcción de dovelas en voladizo empleando los dispositivos móviles de colado (carros), se hacen los voladizos de las pilas 1 y 7 y las primeras dovelas de las pilas 4 y 5 (mástiles); además de realizar los empotramientos provisionales de las pilas 1 y 7.

Segunda Etapa: Se realiza la construcción de los mástiles que se hace simultáneamente con parte de los voladizos.

Tercera Etapa: Comprende el cierre de los tramos 1-2 y 7-8, con la colocación de los carros móviles en posición de cierre, colado del concreto de las dovelas de cierre dando el presfuerzo de continuidad requerido y descimbrado de moldes y el desmontaje de los dispositivos móviles de colado.

Cuarta Etapa: Se sustituyen los apoyos provisionales por los definitivos sobre las pilas 2 y 7.

Quinta Etapa: Construcción de los extremos de la obra principal; y tramos faltantes de los claros de las pilas 1-2, así como de 7-8.

Sexta Etapa: Construcción de los dobles voladizos de las pilas 1 y 5 hasta las dovelas soportadas por tirantes cortos.

Séptima Etapa: Contempla el cierre de los tramos 3-4 y 5-6, en que se incluye la colocación de los carros móviles en posición de cierre, Colado del concreto de dovelas de cierre, el presfuerzo de continuidad, el descimbrado y desmontaje de los dispositivos utilizados para el cierre.

Octava Etapa: Se refiere a la construcción de los dobles voladizos de las pilas 4 y 5 hasta las dovelas soportadas por tirantes largos.

Novena Etapa: La constituye el cierre final del tramo entre mástiles y comprende la colocación de la cimbra, el colado de la dovela de cierre, el presfuerzo de continuidad y el descimbrado.

Décima Etapa: Comprende el tensado del último tirante y los trabajos complementarios del tablero.

Para la construcción de la superestructura del tramo principal se requiere un control muy preciso de las deformaciones que se provocan en los voladizos, parte de ellas por el mismo proceso constructivo y otras que se deben a factores climatológicos, al comportamiento de los materiales de construcción y a la divergencia entre la realidad y la hipótesis del cálculo.

La instalación de un tirante se compone de las siguientes etapas constructivas: Colocación de los tubos de protección de los tirantes, insertado de torones, tensado de los mismos e inyección de la lechada.

Cuando la tensión que se dá a un tirante durante la construcción del puente, es menor a la que va a trabajar al entrar en servicio, o a la que puede llegar a tener durante el proceso constructivo, se requiere dar a la lechada de protección una compresión de tal magnitud que evite que pueda lle-

gar a trabajar a tensión en un momento dado, ya que ello provocaría su agrietamiento y en consecuencia se perdería la finalidad de protección de los torones al permitir el paso del agua.

Con este objeto se realizan los siguientes trabajos:

1º Sobretensión del tirante de un valor mínimo igual a la diferencia de tensión máxima de servicio o durante la construcción, menos la tensión al momento de inyectar; se ejecuta antes de la inyección de lechada.

2º Inyección de la lechada dentro del tubo de protección del tirante.

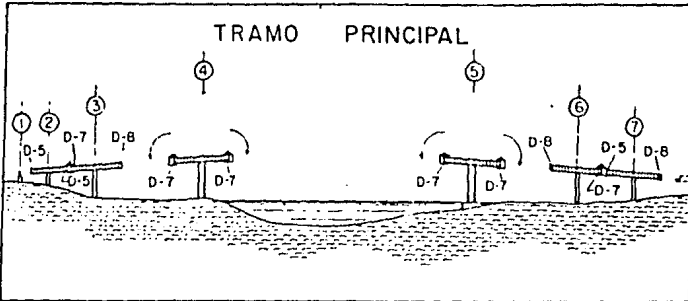
3º Destensión del tirante del mismo valor que la sobretensión, cuando la lechada alcanza su resistencia.

El tensado de los tirantes se efectúa dando primeramente un 50% a las tornapuntas, enseguida el 50% al tirante, a continuación el otro 50% a las tornapuntas y finalmente se termina el del tirante.

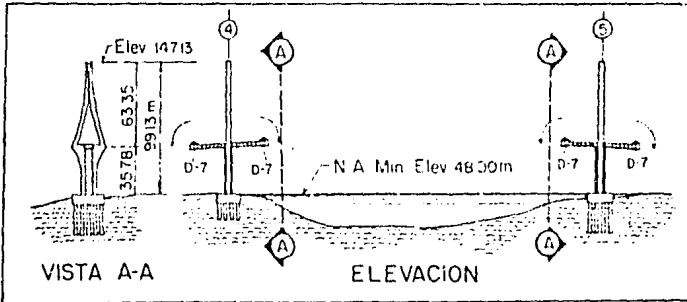
La inyección de los tubos de protección de los tirantes es fundamental efectuarla correctamente, dado que de éllo depende la vida útil del puente.

La inyección de la lechada se lleva a cabo con un equipo similar al que se utiliza en los cables de presfuerzo y se efectúa de abajo hacia arriba en forma simultánea a partir de ambos extremos del tirante.

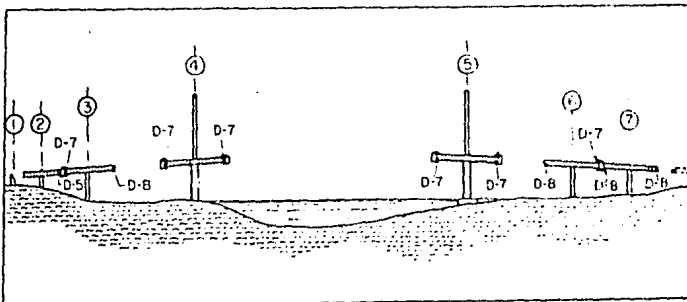
Se emplean aditivos retardantes y estabilizadores del volumen con objeto de evitar la formación de taponamientos durante el proceso, y para impedir la sedimentación y la contracción de la lechada.



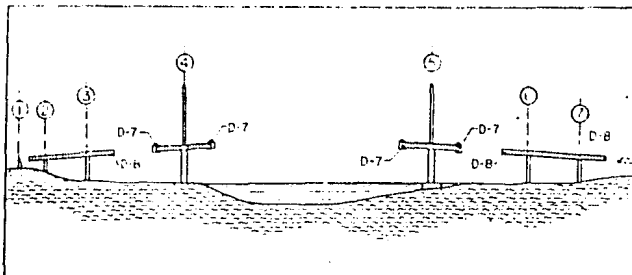
ETAPA 1. Construcción de los dobles voladizos a partir de las pilas; con empotramientos provisionales en las pilas 2 y 7



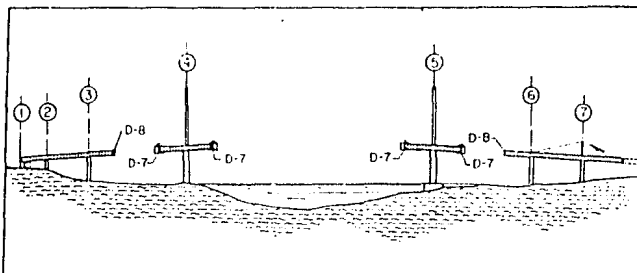
ETAPA 2. Construcción de los mástiles



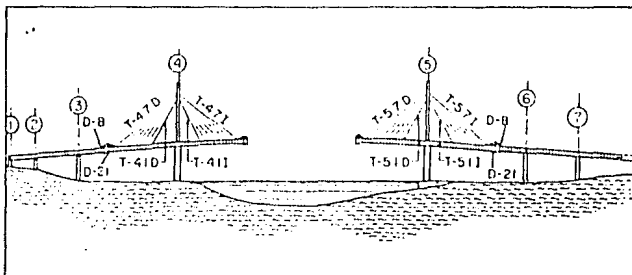
ETAPA 3 CIERRE EN TRAMOS 2-3 Y 6-7. Colocación de los carros móviles en posición de cierre Colado del concreto de las dovelas de cierre



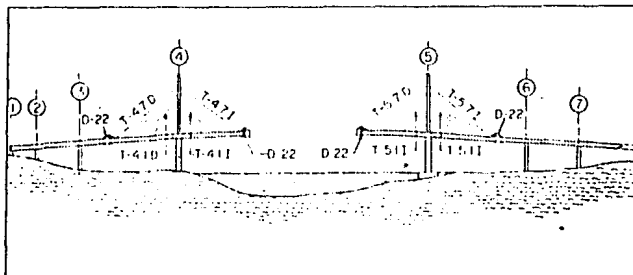
ETAPA 4. Substitucion de apoyos sobre pilas 2 y 7



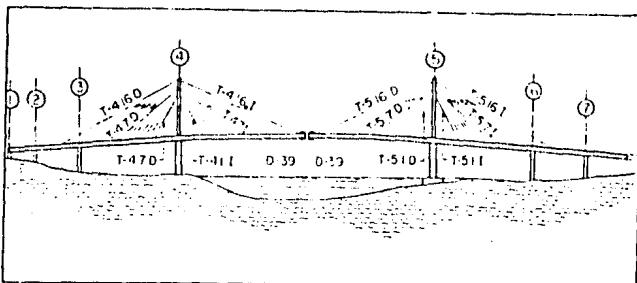
ETAPA 5. Construccion de los extremos de la obra principal, con obra falsa en el tramo 1 y 2 y con mastil provisional colando velas en desequilibrio en el tramo 7-8



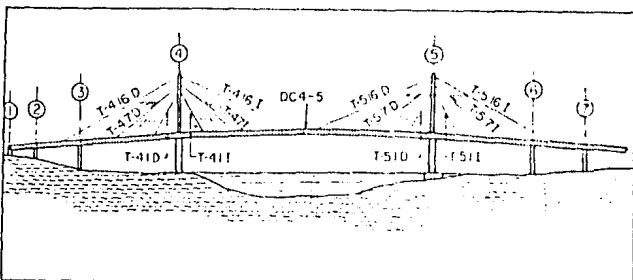
ETAPA 6. Construccion de los tramos soportados por los tirantes cortos



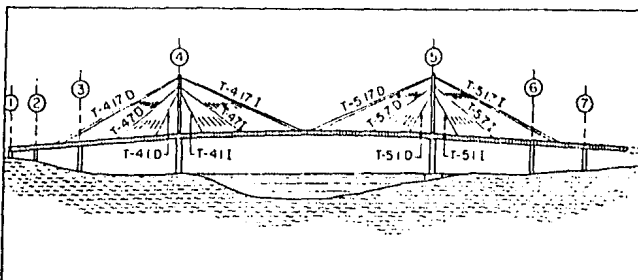
ETAPA 7 CERRAR EN TRAMOS 3-4 Y 5-6. Colocacion de los carros móviles en posición de cierre. Colado del concreto de losas de cierre



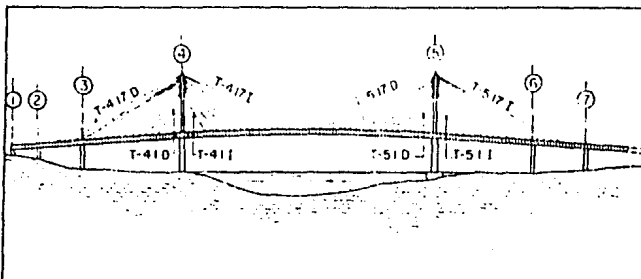
ETAPA 8. Construcción de los tramos soportados por los tirantes largos en las pilas 4 y 5



ETAPA 9 CIERRE EN TRAMO 4-5. Colocación de la cimbra de cierre Cq lado del concreto



✓ ETAPA 10. Tensado del último tirante y acabados del tablero



TRAMO PRINCIPAL TERMINADO

CAPITULO VIII

CONCLUSIONES

C O N C L U S I O N E S .

La historia de la construcción de los puentes es la historia de la civilización; por ella podemos medir gran parte del progreso humano.

El proyecto y la construcción de puentes en México ha tenido un rápido desarrollo, especialmente en los últimos años, en que se han introducido nuevas técnicas y nuevos materiales en la industria de la construcción.

Así podemos ver que la evolución de la construcción de puentes en México, va acorde con las necesidades del país. Todos los procedimientos descritos en este trabajo, fueron en su momento lo suficientemente eficientes para satisfacer las necesidades de servicio del país.

De esta forma por ejemplo, el sistema constructivo de superestructuras, utilizando el método convencional de cimbra de madera con obra falsa, no sea en la actualidad tan usado, como lo era anteriormente, ya que este sistema presenta ciertas restricciones como son básicamente la altura y la dificultad para construir la obra falsa, como vimos en las ilustraciones de ese tema.

Debido al desarrollo económico que ha tenido el país, se tuvo la necesidad de construir vías de comunicación más eficientes, es decir, caminos con especificaciones más altas teniendo la necesidad de cubrir claros más grandes y con alturas mayores, por lo que se vió la necesidad de proyectar puentes empleando métodos constructivos modernos, que han sido aplicados en todas las ocasiones por técnicos mexicanos.

Por lo anterior, en el país, se inicia la carrera de proyecto y construcción de puentes de grandes claros, empezando a usarse traveses metálicas y sistemas de preesfuerzo, cuya ventaja de estos métodos es salvar claros grandes aún en cauces de aguas permanentes.

Posteriormente se introdujo la construcción de superestructuras en doble voladizo para claros hasta de 200m. este método se volvió clásico en la construcción de puentes hasta llegar a los puentes atirantados que son los más espectaculares construidos hasta la fecha en nuestro país.

En conclusión estos son los métodos constructivos más usados en el desarrollo de las vías de comunicación, no queremos decir que sean los únicos que existen, si no que son los que se han usado con cierta frecuencia en México.

Con este panorama general podemos ver que México va a la vanguardia en materia de construcción de puentes empleado en todos los casos tecnología propia.

B I B L I O G R A F I A .

PUENTES.

Wittfhot Hans.
Ed. Gustavo Gili. 1975.

DATOS GENERALES DEL PUENTE TAMPICO.

David Villegas Gómez.
Residente.

REVISTA MEXICANA DE LA CONSTRUCCION.

C.N.I.C. No. 358 1984.

REVISTA DE INGENIERIA CIVIL.

C.I.C.M.
Nos. 105 (1961), 170 (1972) y 180 (1974).

CONSTRUCCION DE PUENTES EN MEXICO.

Ing. Ricardo Lasso Herrera.
S.C.T.

TESIS PROFESIONAL.

Octavio Alvarez Padilla.
1985 U.N.A.M.

MEMORIA DESCRIPTIVA EJE 5 NORTE.

D.D.F.

PUENTES PREFABRICADOS PARA LA AUTOPISTA MEXICO-QUERETARO.

Francisco Robles Fernandez.
I.M.C.Y.C. 1967.

TESIS PROFESIONAL.

Eduardo León Zárate.
1985 U.N.A.M.

REVISTA CONSTRUNOTICIAS.

No. 258 año 22.