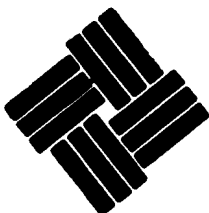


881217

8  
24

# UNIVERSIDAD ANAHUAC

ESCUELA DE INGENIERIA  
CON ESTUDIOS INCORPORADOS A LA  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO



Vince In Bono Malum

## PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS EN LA CONSTRUCCION DEL PUENTE TAMPICO

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO CIVIL  
P R E S E N T A:  
MARCO ANTONIO GUERRERO MONTOYA

Asesor de Tesis:  
ING. MIGUEL MONTES DE OCA A.

MEXICO, D. F.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

1989



## **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.

## PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS EN LA CONSTRUCCION DEL PUENTE TAMPICO

### I). INTRODUCCION

- DESCRIPCION GENERAL DEL ESTUDIO SOCIOECONOMICO PARA LA CONSTRUCCION DEL PUENTE

### II). CARACTERISTICAS DE LOS DISTINTOS PROYECTOS PROPUESTOS

- ALTERNATIVAS DE CRUCE
- TIPOS DE ESTRUCTURA CONSIDERADOS
- DESCRIPCION DEL PROYECTO

### III). DESCRIPCION GENERAL DE LOS PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS

#### **A). CIMENTACION**

- CIMENTACION DE PILAS A BASE DE CILINDROS
- CIMENTACION DE PILAS A BASE DE CAJONES
  - HINCADO DEL TABLESTACADO PERIMETRAL CIRCULAR
  - EXTRACCION DEL MATERIAL Y CONSTRUCCION DE ESTRUCTURA GUIA
  - ARMADO, CIMBRA Y COLADO DEL CAJON
  - HINCA DEL CAJON
  - INSTALACION Y OPERACION DEL SISTEMA DE BOMBEO
  - HINCADO DE PILOTES
  - ARMADO Y COLADO DEL CABEZAL (ZAPATA)

#### **B). SUPERESTRUCTURA DE CONCRETO PRESFORZADO**

- CONSTRUCCION EN DOBLE VOLADIZO
- CONSTRUCCION DE UN PRIMER ELEMENTO DEL TABLERO SOBRE LA PILA
- MONTAJE, FIJACION Y CORRIMIENTO DE LOS DISPOSITIVOS MOVILES DE COLADO
- ARMADO DEL ACERO DE REFUERZO
- COLADO DE DOVELAS
- TENSADO DE LOS ELEMENTOS DE PRESFUERZO

#### **C). TRAMO ORTOTROPICO**

- DESCRIPCION

- 1).-FABRICACION DE DOVELAS METALICAS
  - FABRICACION DE SUBENSAMBLES EN PLANTA
  - INSTALACIONES PARA FABRICACION
    - CORTES
    - FORMACION DE TERRAPLEN
    - NAVES DE FABRICACION
    - NAVES PARA ARMADO DE DOVELAS
    - NAVE DE INSPECCION Y REPARACION
    - NAVES PARA SAND-BLAST
    - NAVE DE PINTURA
    - NAVE DE UNION DE DOVELAS
  
- 2).-SOLDADURA DE SUBMODULOS
  - PREPARACION DE LOS SUBMODULOS
  - PRESENTACION DE UNA DOVELA
    - PRESENTACION Y PUNTEADO DE LOS SUBMODULOS 7, 8 Y 9
    - PRESENTACION Y PUNTEADO DE LOS SUBMODULOS 2 Y 5
    - PRESENTACION Y PUNTEADO DE LOS SUBMODULOS 3 Y 4
    - PRESENTACION Y PUNTEADO DE LOS SUBMODULOS 1 Y 6
  - SOLDADURA DE UNA DOVELA
  - COLOCACION DE PLACAS DE ALINEAMIENTO
  - CONTROL GEOMETRICO
    - CONTROL DE UBICACION GENERAL
    - CONTROL DE LA GEOMETRIA DE LA SECCION TRANSVERSAL
    - JUNTA PERIMETRAL ENTRE DOVELAS
    - CONTROL DE RETRACCION DIFERENCIAL
  - SOLDADURA DE LA JUNTA DE UNION ENTRE DOVELAS
  - ESPECIFICACIONES PARTICULARES PARA LA SOLDADURA
    - EQUIPO
  - CONTROL DE SOLDADURA
  
- 3).-IZAJE DE DOVELAS METALICAS
  - OBRAS AUXILIARES
    - MUELLE DE EMBARQUE
    - DISPOSITIVO DE IZAJE
  - DOVELA DE TRANSICION Y PROCEDIMIENTO DE IZAJE
    - DESCRIPCION
    - PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO
      - ESTADO INICIAL (DOBLE VOLADIZO TERMINADO)
      - IZAJE Y AJUSTE DE DOVELAS (A+B)

*D). COLOCACION Y TENSADO DE TIRANTES*

- ESTUDIOS ESPECIALES
- ASPECTOS GENERALES DE DISEÑO
- PROCESO CONSTRUCTIVO
  - FABRICACION DE TIRANTES
  - MONTAJE DE TIRANTES

*E) PROCEDIMIENTO DE CORRIMIENTO DEL DISPOSITIVO DE IZAJE*

- ALTERNATIVAS DE CORRIMIENTO
- PROCEDIMIENTO
  - PREPARACIONES EN EL TABLERO
  - PREPARACIONES EN LA ESTRUCTURA

IV). COMENTARIOS PERSONALES

V). CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

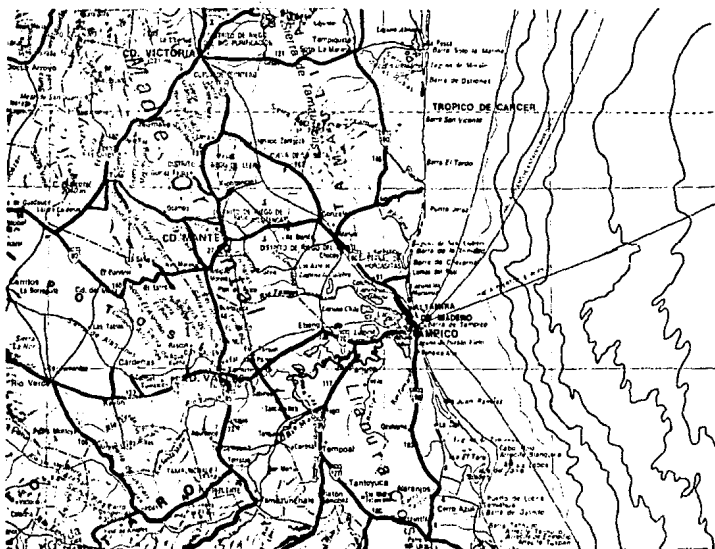
## I. -INTRODUCCION :

### DESCRIPCION GENERAL DEL ESTUDIO SOCIOECONOMICO PARA LA CONSTRUCCION DEL PUENTE.

El creciente desarrollo socioeconómico en la zona de las Huastecas que comprenden los Estados de Hidalgo, San Luis Potosí, el Norte de Veracruz, el Sur de Tamaulipas y especialmente la Ciudad y Fuerte de Tampico ; además del vigoroso desarrollo del tránsito vehicular en el tramo Tampico-Tuxpan de la carretera Costera del Golfo, hacen imperante la necesidad de contar con un medio de comunicación terrestre permanente y fluido para superar las deficiencias del transporte que aquejan a la cuenca baja del Río Pánuco.

La construcción del Puente Tampico localizado en el km 1 + 912, de la Carretera Costera del Golfo fué motivada esencialmente para darle continuidad a la misma, ya que ésta es interrumpida por el cauce del Río Pánuco (ver croquis de localización en la fig I.1), donde el cruce se realizaba mediante un servicio de chalanos y pequeñas embarcaciones, que causan innumerables molestias y gran pérdida de tiempo a los usuarios.

fig. I.1

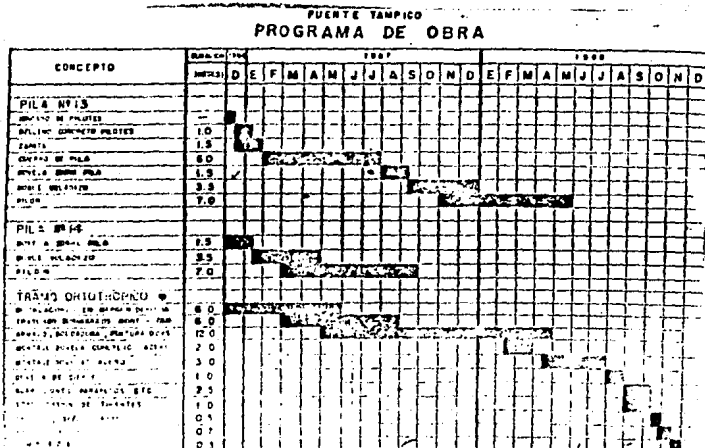


Para satisfacer la necesidad de la gran afluencia del tránsito vehicular en esta zona, se pensó en construir un paso que fuera funcional, económico en su construcción, de vida virtualmente ilimitada, con una figura estética y que conserve la vialidad de las calles de la Ciudad de Tampico, propiciando aún más el desarrollo urbano, económico, industrial y portuario con la facilidad de comunicación entre ambas margenes del Río Pánuco.

Esta es zona prioritaria dentro del Plan Nacional de Desarrollo Urbano, que exige contar con un paso permanente sobre este caudaloso Río, ya que se prevee expansión habitacional en su margen derecha, en el Municipio de Pueblo Viejo, Ver. y por último el fuerte impulso de la región en todos los aspectos, al entrar en funciones el Nuevo Puerto Industrial de Altamira.

Por otra parte, me es grato el haber participado en las diversas etapas de construcción de esta majestuosa obra de ingeniería (fig.I.2), durante el período de enero de '87 a noviembre de '88.

fig.I.2



Es preciso aclarar, que la construcción del Puente Tampico se inició en noviembre de 1979.

En esta fecha se concursó el tramo del Puente comprendido entre los apoyos 18 al 21, quedando incluidos tanto subestructura como superestructura, así como obras complementarias. Según el concurso el inicio de ejecución de esta etapa fué el 17 de diciembre de 1979, pero la terminación que fué programada para el 31 de diciembre de 1980, no se llevó a cabo por razones presupuestales, prolongándose su terminación.

Posteriormente se hizo una ampliación al concurso, asignándole a la misma compañía la construcción del tramo del Puente comprendido entre los apoyos 15 al 17, incluyendo infraestructura, subestructura y superestructura, finalizando su construcción a principios de 1988.

En el año de 1980 se concursó la cimentación de los cajones 13 y 14, el periodo de ejecución según concurso estaba fijado del 17 de abril de 1980 al 30 de junio de 1981, pero al igual que el concurso anterior su terminación se prolongó por falta de recursos. Se realizó una ampliación al concurso, en la cual se asignaba la construcción de las pilas principales a nivel de superestructura en la pila 13 (mástil) y a nivel de subestructura en la pila 14 (cuerpo de pila).

La construcción de los apoyos 1 al 12 se realizó por adjudicación directa, habiéndose iniciado los trabajos en junio de 1980 para finalizar a mediados de 1988.

Con referencia a la fabricación de tirantes, se contrató a una compañía especializada en julio de 1987, la cual terminó su intervención en octubre de 1988.

Actualmente se está elaborando un manual de conservación donde se prevén varios casos de deformaciones, y una vez que se obtengan resultados en la magnitud de dichas deformaciones, se determinará la necesidad de llevar a cabo un retensado de tirantes.

Finalmente la construcción del tramo principal se otorgó a la compañía ICA por adjudicación directa. Iniciando su participación a partir de la fabricación de las dovelas metálicas en la ciudad de Monterrey N.L. en el año de 1981 al año de 1983.

El tramo principal incluye además la construcción del doble voladizo de la pila 14, así como también pilones y mástil, finalizando dichas actividades el 10 de octubre de 1988.



El Puente Tampico fué inaugurado por el Sr. Presidente de la República Lic. Miguel de la Madrid Hurtado, el 17 de Octubre de 1988, fecha en que la S.C.T. festeja el día del Caminero.

En la fig.I.3. se muestran las erogaciones reales efectuadas a lo largo de la construcción del Puente Tampico.

fig.I.3.

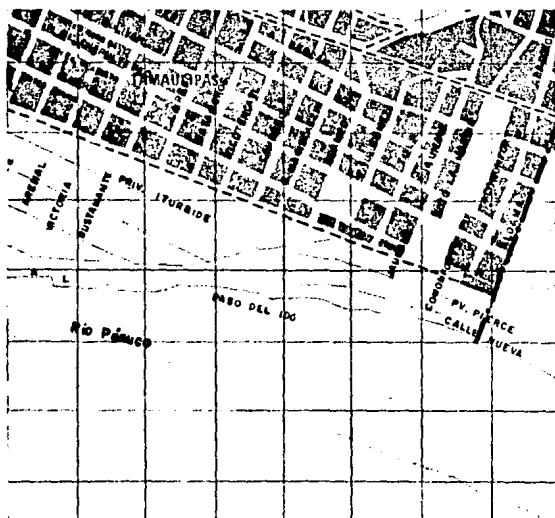
Año	PUENTE	ESTUDIOS Y PROYECTOS	ACCESOS	SUB-TOTAL
1979	5'0	10'5	-----	15'5
1980	150'0	5'5	-----	155'5
1981	395'0	20'0	3'0	418'0
1982	512'0	50'3	88'0	650'3
1983	730'0	70'0	20'0	820'0
1984	1,910'0	222'3	170'0	2,302'3
1985	2,900'0	343'0	150'0	3,393'0
1986	7,000'0	495'0	0'0	7,495'0
1987	32,862'2	1,169'9	4,000'0	38,032'1
1988	79,239'4	7,428'7	9,728'6	96,396'7
<b>TOTAL</b>	<b>125,703'6</b>	<b>9,815'2</b>	<b>14,159'6</b>	<b>149,678'4</b>

## II.- CARACTERISTICAS DE LOS DISTINTOS PROYECTOS PROPUESTOS

La ubicación del Puente se eligió considerando los estudios de la Comisión de la Desembocadura del Río Pánuco, que a su vez contempla los asentamientos humanos en el lugar.

Definida la zona, se estudiaron 5 alternativas de cruce (fig.II.1) para llegar a la solución más económica, tanto de la estructura como de los accesos tomando en cuenta para ello los estudios geológicos, topográficos, climatológicos, de vientos, de grandes avenidas, de socavación, maniobras navales, anchos de río, zonas de indemnización y áreas inundables en temporales, galibos de navegación, intensidad y tipo del tráfico marítimo, etc., ya que como es conocido, la Ciudad de Tampico resulta afectada en gran parte de su extensión por las avenidas que provocan los Ríos Pánuco y Tamesí, quedando prácticamente aislada por vía terrestre.

fig.II.1



## **LAS ALTERNATIVAS DE CRUCE FUERON :**

- 1.-**CANAL DEL CHIJOL.**- Con esta alternativa se invadiría el área donde se localiza la Refinería de Cd. Madero, y en el lado de Veracruz quedaría en zona pantanosa, lo que no garantizaba la estabilidad de las terracerías.
- 2.-**PASO DEL HUMO.**- En este caso se afectarían zonas urbanas en ambos márgenes del Río, así como el paso de chalanes que allí se localiza.
- 3.-**LA PUNTILLA O EL PRIETO.**-Estos cruces, están localizados en zonas bajas, lo que representa la construcción de un Puente demasiado largo ó de terracerías de acceso altas e inestables, ya que el galibo fijado por la Secretaría de Marina en el cruce del Río es de 50 m.
- 5.-**PASO 106.**-Mata Redonda.-Este fué el escogido.

De todos los cruces que fueron considerados como viables el elegido presentó las siguientes ventajas ;

- a.-Une las partes más altas de Tampico y Veracruz lo que ocasiona que se acorte la longitud total del Puente.
- b.-El terreno del lado de Veracruz y parte del de Tampico es relativamente bueno, por lo que se pudo cimentar gran parte de los apoyos por superficie.
- c.-Por ser la región blanco constante de ciclones y temporales, Tampico es vulnerable a las inundaciones, lo que ha ocasionado que se corten los accesos al Puerto, debido al sitio elegido se soluciona este problema.

## **TIPOS DE ESTRUCTURA CONSIDERADOS**

Las distancias horizontal y vertical del claro principal fueron fijadas por la Secretaría de Marina en función del tipo de embarcaciones que entran al Puerto, esto fué determinante para escoger el tipo de estructura entre las tres posibles apropiadas.

*Los tipos considerados fueron :*

**PRIMERA.-DE SECCION VARIABLE EN EL CLARO PRINCIPAL :** tiene la característica de tener una dovela sobre pila con un peralte grande y conforme se construyen las dovelas subsecuentes sus peraltes van decreciendo.

Resultando antieconómica esta opción por el tipo de cimentación que requerirían las pilas principales debido a las condiciones geológicas del terreno existente en ambas márgenes del Río.

**SEGUNDA.- COLGANTE;** Esta opción requería de muerdos de anclaje, de tales dimensiones (por el tipo de terreno) que resultaba antieconómico y de acceso sumamente problemático de construir.

El rango de las deformaciones de esta estructura era muy alto, además de que Tampico es una zona ciclónica y frecuentemente atacada por Nortes, por lo que la flexibilidad de este tipo de estructura lo haría inoperante en estas épocas.

Otra de las desventajas de esta opción es el rango del claro central debido a que estas estructuras se diseñan para claros mayores de 800 metros.

En cuanto a su procedimiento constructivo tiene la característica de suspender la viga de rigidez del cable sustentante por tramos parciales prefabricados, partiendo del centro y avanzando hacia ambos lados.

**TERCERA.- ATIRANTADO;** tiene la característica de realizar la suspensión de la viga del Puente por medio de cables inclinados tensos que se unen en la cabeza del pilón ó quedan anclados separadamente en la parte superior del mismo.

Este tipo es el más ventajoso dadas las características, tanto en dimensiones como tipo de terreno en el área de desplante, para lograr una ventaja adicional que consiste en hacer más esbeltas las pilas principales.

#### **DESCRIPCION DEL PROYECTO :**

Los estudios topográficos, geológicos y del subsuelo que se llevaron a cabo previamente al proyecto, así como los estudios hidráulicos y económicos, permitieron elegir el tipo de estructura por construir.

El Puente Tampico es una estructura del tipo atirantado mixto en el claro principal compuesto de concreto presforzado y estructura metálica, que consta de 2 estribos y 19 pilas que soportarán la superestructura, de las cuales, 17 de ellas son secundarias y 2

principales que propiamente sostienen el tablero del claro central.

Las principales características del Puente son las siguientes (fig.II.2) : Longitud total 1,543.00 mts., formado por un tramo principal atirantado de 876.80 mts., que consta de 8 (ocho) dobles voladizos de concreto presforzado, con claros de 70.00 mts. y un tramo de acero estructurado en forma ortotrópica con longitud de 293.50 mts. que forma parte del claro central de 360.00 mts. Este es el claro más largo construido hasta la fecha en la República Mexicana.

Cuenta además con 2 (dos) viaductos : el de la margen izquierda, con longitud de 473.60 mts. con 4 (cuatro) dobles voladizos de 63.00 mts. de claro y 4 (cuatro) tramos continuos de 56.00 mts. de claro, todos de concreto presforzado y el de la margen derecha de 192.60 mts. con 3 (tres) tramos en doble voladizo de concreto presforzado de 63.00 mts. de claro.

La Rasante tiene una pendiente constante de 4.85 % hasta el inicio del tramo de acero y entre éstos se tiene una curva circular con radio de 3,023.00 mts.

La cimentación fué de 2 tipos : por superficie y profunda, dividiéndose esta última en cilindros y cajones, los cuales se hincaron a diferentes profundidades dada la inclinación ó hechado del manto resistente.

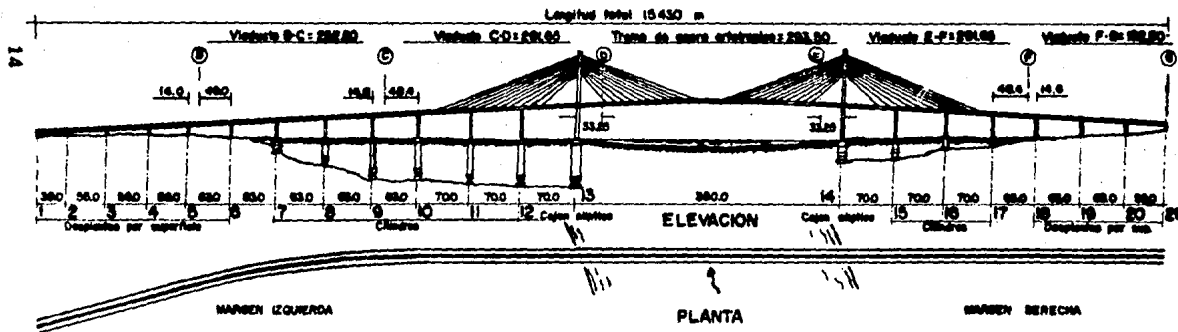
La subestructura del Puente está integrada por 21 apoyos de concreto reforzado. Los estribos están formados por una losa de cimentación sobre la cual se apoyan dos machones unidos en la parte superior por un cabezal (fig.II.3). La resistencia del concreto utilizado fué de  $F'c = 300 \text{ kg/cm}^2$ .

La obra está ligada en la margen izquierda con el Boulevard Adolfo López Mateos a un costado de la Laguna del Carpintero dentro de la Ciudad de Tampico, contando con un desarrollo del orden de 4 kms y en su margen derecha se une a la carretera Costera del Golfo, mediante un acceso de 6 kms de longitud.

Las pilas cuya altura varía de 5 m. a 40 m. son huecas desde el nivel + 1.50, con sección rectangular de 2.40 m. x 6.40 m. y espesor de pared de 40 cms. en los viaductos y 50 cms en el tramo principal.

Las pilas principales 13 y 14 cuya altura es de 45.00 m. y espesor de 40 cms. son de sección variable con dimensiones de 3.50 x 12.00 mts. en su desplante, ampliándose lateralmente hasta

# PUENTE TAMPICO DE LA CARRETERA COSTERA DEL GOLFO



llegar al nivel de calzada con 3.50 x 25.20 mts. incluyendo 2 brazos divergentes.

fig.II.3



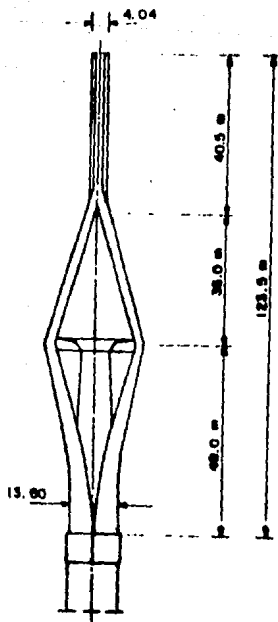
La parte superior consta de dos columnas convergentes (pilones) y el mástil de los pilones formando una "Y" invertida, el mástil que tiene una altura de 124.63 mts. será la sección en la cual se anclarán los tirantes (fig.II.4).

Los pilones tienen una sección de 2.50 x 3.50 mts., provistos de un hueco interior circular de 1.10 mts. de diámetro, para alojar una escalera de Caracol.

La sección del mástil es exagonal de 2.02 mts por lado y de espesor variable.

El atrantamiento axial del tramo principal es del tipo denominado medio abanico y está formado por 44 tirantes con longitudes variables de 58.60 a 206.19 mts., constituidos por torones galvanizados de 5/8" con un mínimo de 33 y máximo de 60. Los torones se alojan en fundas de polietileno de alta densidad de 20.00 cms. de diámetro y se inyectan con una cera especial con objeto de darles protección contra la corrosión, dado el ambiente corrosivo de la zona.

fig. II.4



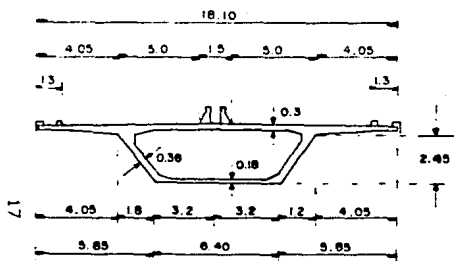
## SECCION TRANSVERSAL PILAS 13 y 14

La Superestructura tanto en la parte de concreto como en la de acero es de sección cajón cuya base inferior tiene 6.40 mts, almas inclinadas, peralte de 3.04 mts., con 10.00 mts. entre almas en su parte superior y aleros en ambos lados para completar un ancho total de 18.10 mts. que permite alojar 2 (dos) calzadas de circulación de 7.00 mts. cada una para 4 (cuatro) líneas de tránsito separadas por un camellón central de 1.50 mts. y con 2 (dos) banquetas laterales para peatones de 1.30 mts. cada una (fig. II.5).

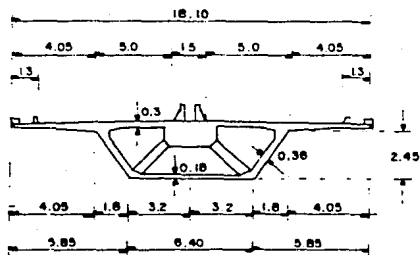
Cabe señalar que los tirantes no son continuos en el mástil, dentro del cual son fijados por medio de anclajes muertos ó pasivos. Los anclajes vivos ó activos están ubicados en el interior del tablero que son estructuras llamadas "mogotes". los cuales a su vez son auxiliados por tornapuntas presforzados en la zona de concreto y metálicos en la de acero, garantizando así el trabajo en conjunto de la sección.



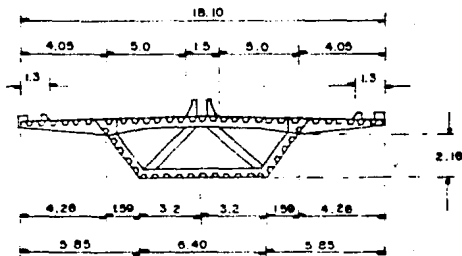
SECCIONES GEOMETRICAS TRANSVERSALES



SECCION TIPO. CONCRETO



SECCION EN PARTE ATIRANTADA. CONCRETO



SECCION TIPO. TRAMO ORTOTROPICO

### III.-DESCRIPCION GENERAL DE LOS PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS

#### A).-CIMENTACION :

Para el diseño de la cimentación, se realizaron diversos estudios de caracter especial para definir su tipo, dentro de los cuales tenemos : Estudios Geológicos, Hidrológicos, de Mecánica de Suelos y Topográficos, analizando a su vez varias soluciones como : Pilotes prefabricados, Pilotes colados en el lugar, Cilindros y Cajones.

De acuerdo a la importancia de la estructura la cimentación fué de 2 tipos : por Superficie y Profunda.

La cimentación por superficie se realizó en los caballetes extremos y en las pilas 2 á 6 y 18 á 20 que son zapatas a cielo abierto de forma trapezoidal.

La cimentación profunda se ejecutó en la pila 7 mediante pilotes colados en el lugar de 1.50 mts. de diámetro y 18.50 mts. de longitud. En las pilas 8 á 12 y 15 á 17 con cilindros de concreto reforzado con profundidades de hincado que varían desde 10 mts. hasta 60 mts. y finalmente en las pilas 13 y 14 con cajones de concreto reforzado que vistos en planta, son de forma elíptica, construidos con procedimientos tradicionales realizando las excavaciones mediante una draga equipada con cucharón de almeja.

#### A.1).-CIMENTACION DE PILAS A BASE DE CILINDROS :

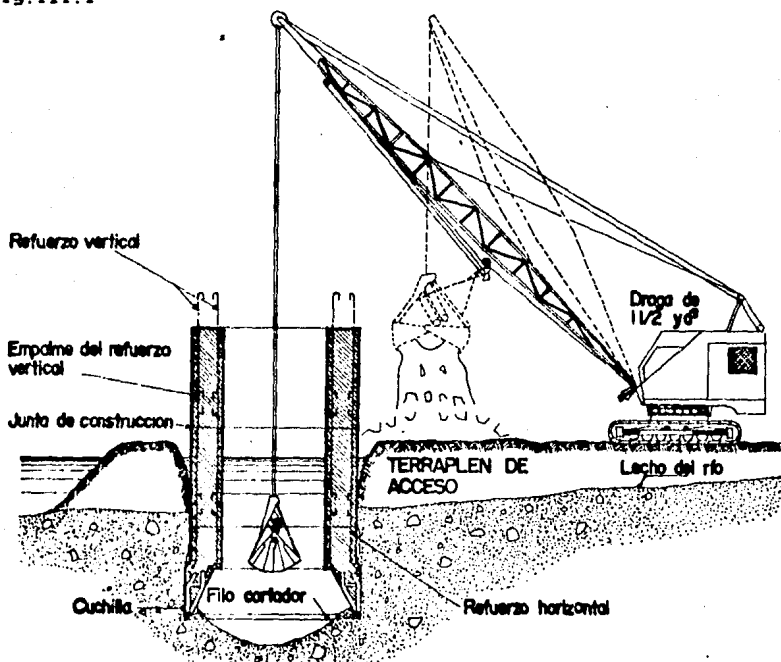
En este sistema de cimentación, se emplearon Cilindros de concreto reforzado de 6.40 y 8.90 mts. de diámetro, con paredes de 80 cms. de espesor, realizando el hincado mediante el procedimiento de Pozo Indio (fig.III.1).

Este sistema consiste en extraer el material del subsuelo por el hueco interior de los elementos, mediante una máquina excavadora tipo draga equipada con cucharón de almeja con capacidad de hasta 1 1/2 yd<sup>3</sup>, provocando con ello la falla del material donde se apoya la cuchilla cortadora de acero estructural, permitiéndole así bajar aprovechando su peso propio e hincarlo hasta su nivel de desplante.

Se utilizaron algunas herramientas y equipos complementarios, como arietes rectos ó inclinados, bombas para extraer el agua del interior del cilindro, dinamita para provocar vibración y romper la fricción, chiflones de

aire y agua, que se aplicaron exteriormente con el mismo propósito de romper la fricción.

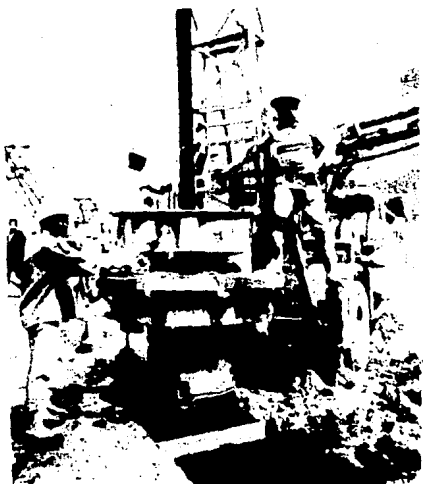
fig. III.1



También se utilizaron buzos para cerciorarse de la presencia de algún obstáculo que pudiera ocasionar problemas en la secuencia del hincado.

Para lograr los empotramientos pedidos dentro del material resistente del subsuelo se utilizaron brocas especiales de perforación tipo CALDWELL (fig. III.2) de gran capacidad dada su profundidad y dureza.

En general no se presentaron dificultades especiales ó diferentes a las ya conocidas para este tipo de trabajo, salvo las registradas en las pilas 8 a 12 donde se perdió el control en la verticalidad de los Cilindros durante su hincado, debido al escaso apoyo lateral del material circundante, lo cual obligó a modificar un poco la



El problema de desplome se resolvió hincando 4 pilotes huecos de acero de 24" de diámetro y 1/2" de espesor, colocados en el lado hacia donde quedó el desplome con el objeto de evitar un posible desplazamiento del elemento en ese sentido.

El hincado se realizó en forma continua, empleando un mínimo de tiempo en la unión de los tramos de tubo, dado que la adherencia del material del subsuelo contra los pilotes hubiera impedido el hincado en caso contrario.

Los pilotes se hincaron con una inclinación de 30° respecto a la vertical hasta encontrar el estrato resistente llegando a profundidades de 54 a 62 mts, penetrando de 5 a 7 mts. dentro del manto resistente.

Terminado el hincado se retira el material de la parte interior de los tubos, para colocar en toda su longitud un armado de varillas de acero antes de rellenarlos de concreto, quedando sus extremos superiores empotrados al tapón del cilindro.

Los taponés inferiores de estas pilas no requieren

refuerzo debido a su gran peralte y poco claro. Se colocaron bajo agua y el concreto se colocó con la utilización de tubos "TREMIE". Una vez adquirida la resistencia suficiente se extrajo el agua para efectuar su inspección.

El tapón superior, que constituye propiamente la zapata de la pila, se construyó en forma convencional, ya que esta operación se realizó en seco.

#### A.2).-CIMENTACION DE PILAS A BASE DE CAJONES :

Los cajones son recintos para soportar cargas, que se hundien en el suelo, generalmente para proteger las excavaciones de una cimentación ó auxiliar la construcción de la subestructura y servir como parte de la estructura permanente.

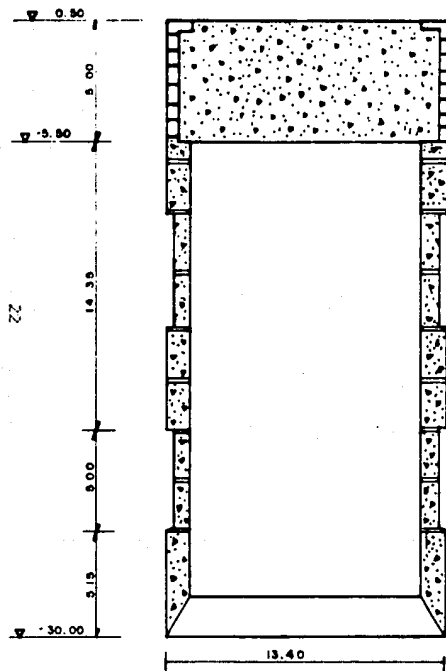
Se utilizan los cajones en las cimentaciones para facilitar la construcción de tiros ó pilares desde cerca de la superficie del terreno ó del agua hasta la capa de sustentación.

Con este tipo de construcción pueden conducirse cargas pesadas a grandes profundidades. Se construyen de materiales estructurales comunes y pueden tener cualquier forma de sección transversal.

Los cajones abiertos fueron usados en los trabajos de cimentación del Puente "TAMPICO". Son cerramientos sin tapa ni fondo durante el proceso de hundimiento. Cuando se utilizan para pilas de puente generalmente son rectangulares y celulares, en este caso de forma elíptica. Las células sirven como pozos de dragado, pasajes para tubería y tiros de acceso.

Cuando el Cajón llega a la capa de apoyo, el fondo se sella con concreto.

Tomando en cuenta las experiencias que existen en México para la construcción de Cilindros, se adoptó la solución de Cajones de forma elíptica en las pilas 13 y 14, con las dimensiones siguientes : 13.40 mts. en su eje mayor y 10.48 mts. en el menor, con paredes de 1.00 mt. de espesor y divididos en cuatro celdas formadas por diafragmas, para contrarrestar las fuertes presiones que sufren durante su proceso de hincado (fig.III.3).



SECCION TIPO CAJON CUERPO DE PILA

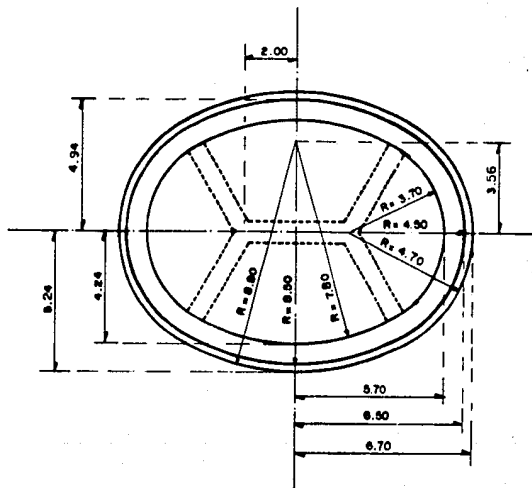


FIG. III.3

Como una ilustración del proceso se hace referencia a lo realizado en la FILA 13, según su secuencia constructiva :

a. Hincado del tablestacado perimetral circular.

Como el Cajón quedó parcialmente dentro del cauce del Río, fué necesario construir una península, para lo cual se hincaron pilotes de troncos de palmera en su perímetro, troquelados con cables de acero, para la protección y confinamiento del material de relleno. Esta constituyó una atagüa.

- b. Una vez construida la atagüa se procedió a extraer el material dentro de la península hasta 3.60 mts. de profundidad bajo el nivel del terreno natural, con el objeto de retirar todos los obstáculos superficiales que pudieran impedir el hincado del Cajón en su fase inicial. El material extraído se substituyó por otro de mejor calidad.

Una vez concluida la plataforma dentro de la atagüa se efectuó la construcción de una estructura guía de concreto (fig.III.4), de sección hueca en torno al cajón.

Esta estructura está formada por seis pilotes precolados de concreto reforzado de 40 cms. x 40 cms. de sección, hincados a una profundidad de 25 mts. Sobre éstos se localizan ménsulas de concreto reforzado, cuya función principal fué de actuar como elementos estabilizadores del cajón evitando posibles desplomes durante su hincado.

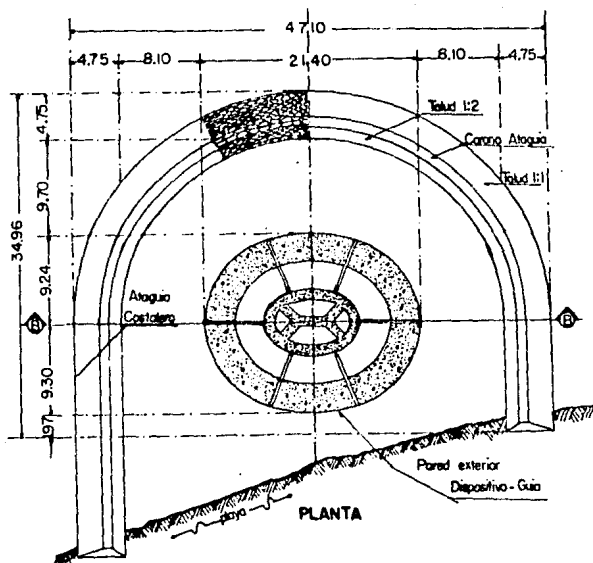
Las cuffas de deslizamiento que se utilizaron durante el hincado del cajón fueron piezas de madera de 8" x 8" de sección, localizadas en los elementos verticales de las ménsulas y entre estas y la pared del cajón se introdujeron otras piezas de madera de iguales dimensiones debidamente engrasadas.

c. Armado, Cimbra y Colado del Cajón.

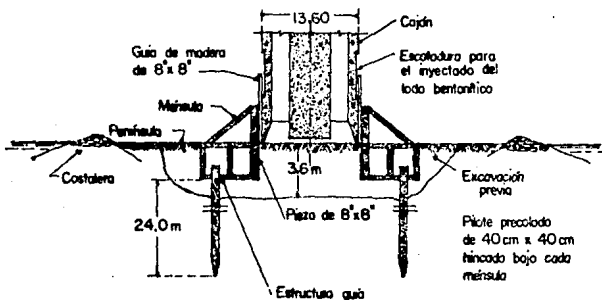
Los colados se realizaron en secciones de 2.50 mts. de altura utilizando moldes metálicos con troquelamientos suficientemente rígidos para evitar deformaciones.

Paralela a esta actividad se procede al armado del acero de refuerzo para tener facilidad de ir ligando las varillas del diafragma al Cajón y el armado del mismo. Teniendo terminada esta actividad se procede al colado de todo el elemento mediante bombeo del concreto. Para garantizar la calidad del mismo se fabricó en obra con planta dosificadora y transportado en ollas revolventoras.

fig. III.4



CROQUIS DE ATAGUIA DEL APOYO 13



CORTE B-B DE LA PLANTA SUPERIOR

Se descimbra a las 8 hrs. de haber finalizado el colado y se procede de inmediato al hincado.

d. Hinca del Cajón.

Una vez descimbrado el Cajón se excava el núcleo. Para realizar la excavación fué necesario que se atacaran dos de



las cuatro celdas del Cajón en forma simultánea para evitar desplomes en el mismo, empleando para ello dos grúas dotadas con cucharón de almeja, efectuando esta excavación hasta donde permita el perímetro interior del Cajón y diafragma. Cerca de estos elementos se tiene especial cuidado para no golpear el concreto con la herramienta de ataque y así por propio peso se deslice el Cajón.

Para la reducción de la fricción generada durante el hincado entre la superficie del Cajón con el terreno, se dejaron escotaduras ó reducciones (ver fig.III.3) que se fueron llenando con lodo Bentonítico durante el hincado, las cuales se inyectaron con mortero de cemento mediante tuberías instaladas en la pared exterior del Cajón una vez que se llegó a la capa resistente.

La profundidad del desplante en la PILA 13 es de 62.50 mts. siendo la más profunda construida en los puentes de México hasta la fecha, para la PILA 14 tenemos una profundidad de desplante de 25.00 mts.

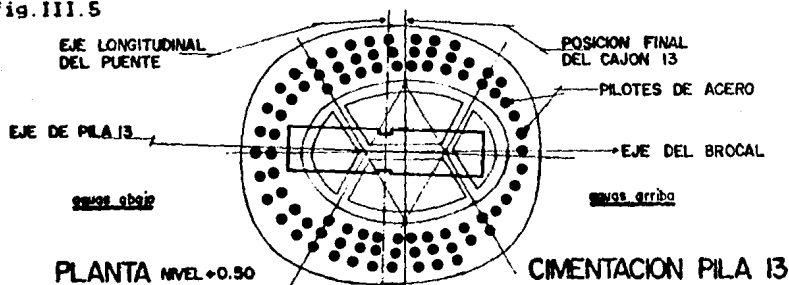
e). Instalación y operación del sistema de bombeo.

Como el hincado de los Cajones se realizó abajo del nivel freático, para controlar el flujo de agua dentro de los Cajones y hacer la excavación en seco, se instalaron 7 equipos de bombeo tipo profundo, con bombas sumergibles accionadas automáticamente con electroniveles. La capacidad de cada bomba es de 6 lt/seg.

f). Hincado de pilotes.

Debido al desplome existente, la pila se reforzó con 85 pilotes de tubo de acero de 60 cms. de diámetro y 1/2" de espesor, hincados en la periferia con una longitud de 65 a 70 mts., rellenos de concreto reforzado y unidos al Cajón en su parte superior mediante un cabezal (fig.III.5).

fig.III.5



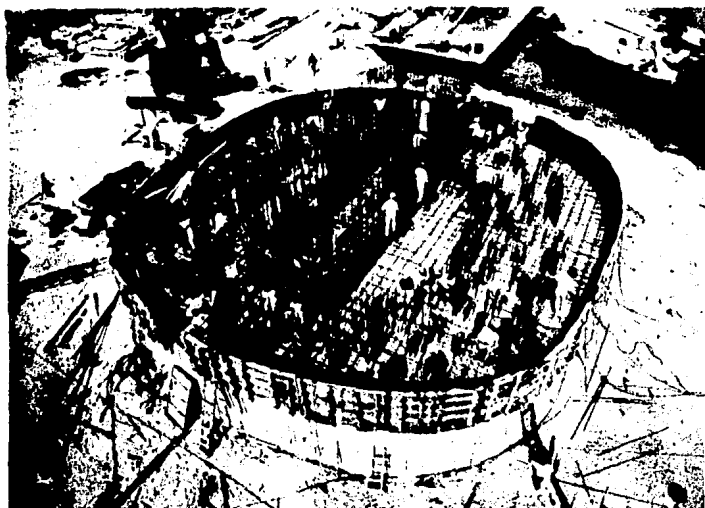
g. Armado y colado del cabezal (zapata).

Terminado el hincado de pilotes se coló una plantilla de concreto de 50 cms. de espesor. Posteriormente se coloca el acero de refuerzo correspondiente a la llamada parrilla inferior, compuesta de varios lechos, limitando el área del cabezal mediante el molde respectivo.

El cabezal tiene un peralte de 5.00 mts. para impedir que se flexione y lograr una repartición uniforme de las cargas tanto en los pilotes como en el Cajón.

En vista del fuerte volúmen de concreto en el cabezal, su colocación se llevó a cabo en 3 etapas, cada una con espesor de 1.65 mts. (fig.III.6).

fig.III.6



Para cada colado y con el propósito de evitar las contracciones por temperatura debidas al fraguado del concreto, en su elaboración se utilizó cemento de bajo calor, agua fría con temperatura de 2°C. a 3°C. y un aditivo retardante. Adicionalmente se enfriaron los agregados pétreos y las áreas de trabajo se cubrieron con lonas.

Como medida de seguridad se aprovechó un muerto especial

(fig.IV.5) que se construyó para tratar de enderezar el Cajón, colando una trabe de liga entre el cabezal y el atraque, donde se insertaron cables de presfuerzo para su postensado, y así al tener conectado el cabezal con el cajón poder absorber los esfuerzos que pudiesen producir en un momento dado las cargas originadas por la acción del viento, en el supuesto caso que alcanzara velocidades de hasta 250 km/hr.

## B).-SUPERESTRUCTURA DE CONCRETO PRESFORZADO

### Construcción en doble voladizo.

El procedimiento general de construcción de todos los tramos de la Superestructura está basado en el colado de dovelas simétricas en doble voladizo a partir de los apoyos, sin necesidad de utilizar elementos de apoyo directo sobre el terreno (fig.III.7). Esta presenta la ventaja de no ser determinante la altura de la obra, no impedir la navegación en el Río y reducir su costo.

fig.III.7



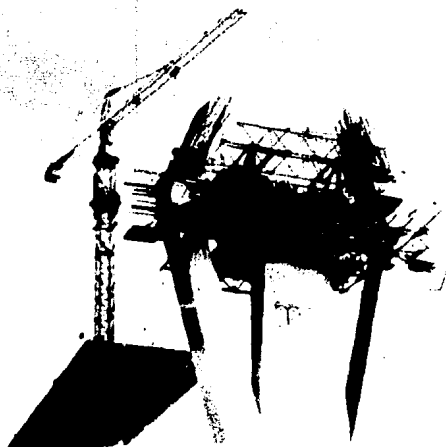
La mitad de los extremos adyacentes a los estribos 1 y 21 se construyeron en forma tradicional con obra falsa.

El procedimiento de Doble Voladizo consiste en construir sin obra falsa la superestructura de concreto, partiendo del eje de la Pila, uniendo dovelas de 3.50 mts. con cables de presfuerzo a cada lado de la Pila.

El cableado se proyecta de manera que en cada dovela estos terminan y al tensarse, las dovelas quedan unidas con las precedentes, con una capacidad suficiente para autosoportarse y a la vez soportar a las siguientes.

La construcción de cada voladizo debe hacerse simultáneamente y simétricamente para conservar la verticalidad de la Pila y el equilibrio de los dos volados (fig.III.8).

fig.III.8



La Superestructura es de sección cajón trapezoidal de 18.10 mts. de ancho que comprende la losa superior con aleros, 6.40 mts. de losa inferior, dos almas inclinadas, 3.04 mts. de altura y el espesor de la losa inferior es variable de 1.20 mts sobre la Pila a 0.22 mts. al extremo de 35.00 mts. de longitud en el cierre con el otro volado formando una carterá inferior.

Cuenta con un camellón central, pasos peatonales a cada extremo con sus respectivas guarniciones y posteriormente unos elementos precolados que formarán el faldón.

La Estructura en la zona de tirantes está reforzada con tornapuntas de concreto en los anclajes de tirantes y bloques ó mogotes de concreto reforzado, como se observa en la fig.II.5. Este tipo de estructura es ligera y resistente, lo que la hace económica y fácil de construir.

La longitud de colado de estas dovelas en doble voladizo fué de 3.50 mts., debido al peso del elemento, ya que colar distancias mayores implica un mayor peso y por lo tanto emplear una cimbra más reforzada representa un mayor costo.

Este procedimiento conviene especialmente cuando se tienen claros comprendidos entre los 50 y 120 mts. y/o sobre Pilas de gran altura. Su construcción se efectúa en etapas cortas y repetidas que requieren mínima mano de obra, pero si especializada, su control y supervisión es sencilla y sistemática por las reducidas dimensiones de los frentes de ataque.

Otra ventaja a su favor es la facilidad de calcularla por ser una estructura isostática.

La losa inferior del cajón se engrosó hacia los apoyos (Pilas) para que resistiera las compresiones provocadas por el momento flexionante en este lugar.

La sección de la losa superior se determinó para resistir las cargas rodantes llevando cartelas y presforzándose en sentido transversal.

La construcción se realizó empleando Dispositivos Móviles ó Carros de Colado, programando actividades con el fin de colar una dovela por semana, lo cual exigió que el concreto alcanzara el 75 % de la resistencia de proyecto a las 72 horas, para efectuar el presfuerzo.

Para lograrlo se recurrió al uso de aditivos acelerantes y fluidizantes para aumentar el revenimiento del concreto de 10 a 16 cms. efectuando así una colocación muy eficiente en las secciones de las dovelas que son relativamente delgadas y con una gran filigrana de acero de refuerzo.

El montaje de los carros de colado, la elevación del acero de refuerzo y parte de la alimentación del concreto se

realizaron con grúa torre ó grúa potain.

Después de realizar el presfuerzo de un voladizo, se corren los carros para proseguir con el siguiente volado.

La secuencia constructiva de este procedimiento incluye las siguientes actividades : Construcción de un primer elemento de la superestructura sobre la Pila, montaje y fijación de los dispositivos móviles de colado, armado del acero de refuerzo, colado de las primeras dovelas simétricas, fraguado del concreto y tensado de los elementos de presfuerzo, soltar y mover hacia adelante los dispositivos móviles de colado, repetición de este ciclo las veces que sea necesario y desmontaje de los dispositivos móviles de colado. Actividades que enseguida se detallan :

#### **CONSTRUCCION DE UN PRIMER ELEMENTO DEL TABLERO SOBRE LA PILA**

Una vez terminada la Pila, apoyada sobre la misma se construye un primer elemento del tablero, DOVELA SOBRE PILA (fig.III.9), y el cabezal que le sirve de apoyo a ésta, al mismo tiempo funciona como refuerzo ó rigidizador a los brazos divergentes de la Pila principal, impidiendo que estos se desplacen ó que pierdan su ángulo de inclinación.

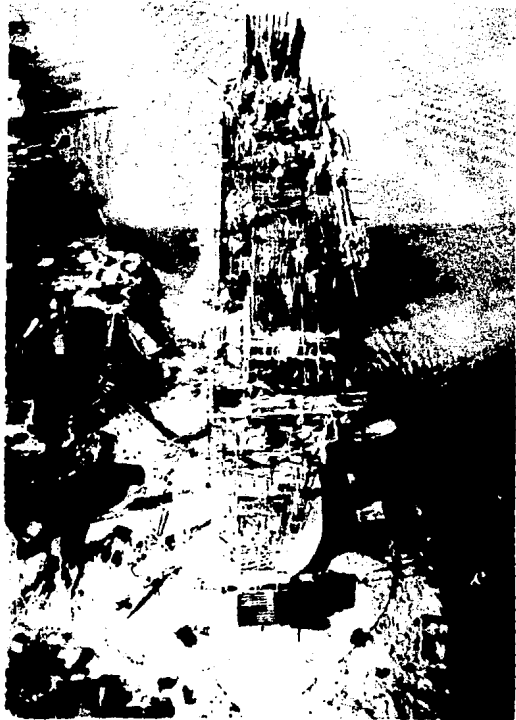
Para la construcción de estos elementos se utilizó obra falsa metálica y cimbra de madera, debido a la forma y disposición de la Pila principal. La obra falsa se apoyó sobre ménsulas metálicas en celosía ancladas en el cuerpo de la pila mediante barras de presfuerzo Dywidag.

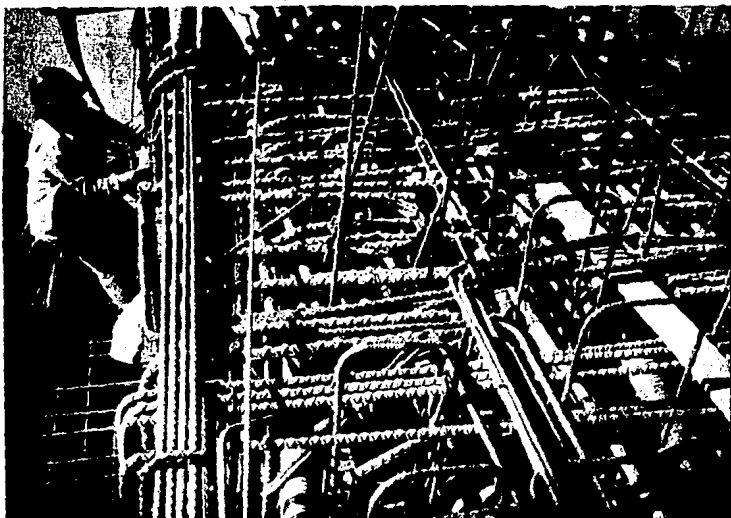
Para impedir que los brazos divergentes de la pila se abrieran ó desplazaran debido al peso de : la cimbra, acero de refuerzo y del concreto, se colocó un refuerzo provisional de brazo.

En el colado de la dovela sobre pila y del cabezal se colocaron los ductos para el presfuerzo del doble voladizo y del presfuerzo del cabezal (fig.III.10). Adquirida la resistencia de un 75 % en el concreto, se procede a colocar el presfuerzo definitivo del cabezal de brazo a brazo, para luego retirar el presfuerzo provisional.

El concreto utilizado fué de  $F'c = 350 \text{ Kg/Cm}^2$ . El suministro del concreto se llevó acabo con bacha por medio de una grúa torre y se fabricó en obra con una planta de concreto del tipo ORU-1040 con capacidad de  $20 \text{ m}^3/\text{hr}$ .

fig. III.9





#### *MONTAJE, FIJACION Y CORRIMIENTO DE LOS DISPOSITIVOS MOVILES DE COLADO*

Las partes que integran los carros móviles de colado son izadas y colocadas en la dovela sobre pila para iniciar su montaje, así como también, se efectúan los preparativos para la construcción de los dobles voladizos.

Los carros realizan la función de cimbra en la dovela de concreto por colar. Al estar posicionados correctamente se arma el acero de refuerzo de la losa inferior, almas y losa superior, para después ubicar los ductos necesarios de acuerdo al proyecto e insertar los cable de presfuerzo, posteriormente se coloca la cimbra de las almas y finalmente se efectúa el colado.

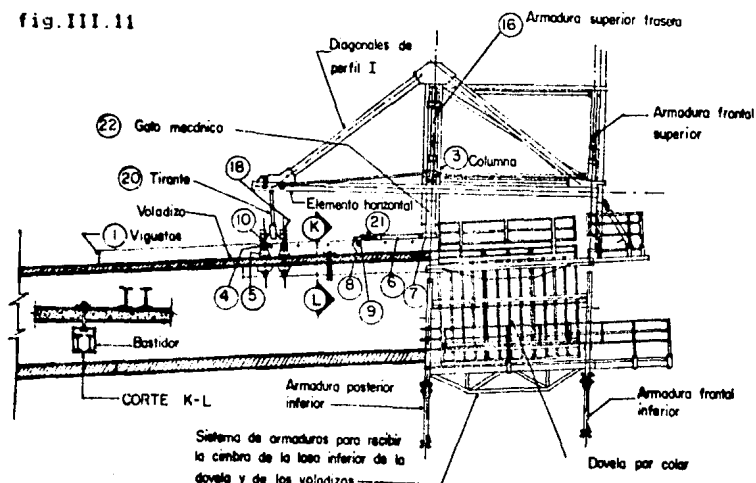
Una vez que el concreto adquirió el 75 % de la resistencia, se hace el vensado del presfuerzo a la tensión requerida. Terminada la actividad anterior se procede con el corrimiento de carros de colado, preparando así la siguiente dovela.

Para efectuar el desplazamiento de los carros de colado es preciso correr primeramente el extremo frontal de las

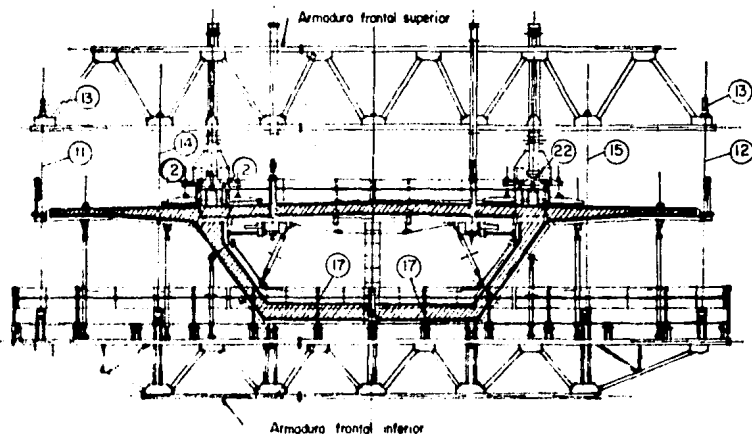


viguetas (1), localizado en el borde de la dovela precedente para quedar finalmente al borde de la dovela colada, luego se desplaza el carro sobre las viguetas hasta dejarlo en posición para colar la nueva dovela (fig.III.11).

fig.III.11



SECCION LONGITUDINAL DEL CARRO



SECCION TRANSVERSAL DEL CARRO

El corrimiento de las dovelas (1) se realiza de la siguiente manera : al accionar los gatos hidráulicos (2) se eleva la columna (3) del carro, dejando libres las viguetas (1). Se aflojan las bridas (4) localizadas en la parte posterior del carro que a su vez fijan los yugos (5) los cuales sujetan el patín inferior de las viguetas (1).

En el paso siguiente los gatos horizontales (6) que están articulados a las zapatas (7) y a los dispositivos de sujeción trasera (8), se anclan mediante pernos (9) a los agujeros correspondientes (10) de las viguetas (1). Al retraerse el pistón del gato (6), las viguetas (1) son desplazadas hacia adelante, esta operación se repite hasta dejar el extremo frontal de las viguetas al borde de la dovela colada.

Para llevar acabo el corrimiento del carro es necesario cargar nuevamente la columna (3) sobre las viguetas (1), esto se logra al accionar el gato mecánico (10) y al desactivar los gatos hidráulicos (2). En las barras (11) y (12) provistas en su extremo superior con gatos (13), se hace la transferencia de carga de la barra al gato mediante la operación simultánea de desatornillar la tuerca y abrir el pistón, al realizar esta operación la armadura desciende y con ello la cimbra exterior de la dovela.

Antes de iniciar el avance del carro, es preciso retirar los elementos que impiden su movimiento, estos elementos son : las barras (14) y (15) localizadas en la armadura superior trasera (16), así como las barras (17) que están fijas a la losa inferior de la dovela anterior a la recién colada.

Posteriormente se fijan las viguetas (1) al apretar las bridas (4), es necesario retirar los yugos superiores (18) para efectuar el corrimiento.

Finalmente se activan los gatos horizontales (19) que actúan sobre las zapatas (7) con lo que se genera el avance del carro, esta operación debe repetirse hasta que la columna (3) esté muy próxima al borde de la dovela colada.

Concluido el corrimiento se instalan los yugos superiores (18), y junto con el tirante (20) que propiamente proporciona la estabilidad del carro, soportan el peso de la estructura, así como parte de la nueva dovela. Repitiéndose el ciclo tantas veces como dovelas se construyeron.

Para acelerar el proceso del doble voladizo, se fabricaron elementos precolados que van en las zonas donde se anclaron los presfuerzos, como son : bloques ó mogotes y tornapuntas que se colocan con sus preparaciones de anclaje al acero de refuerzo y para hacerlos homogéneos al momento de colar la dovela.

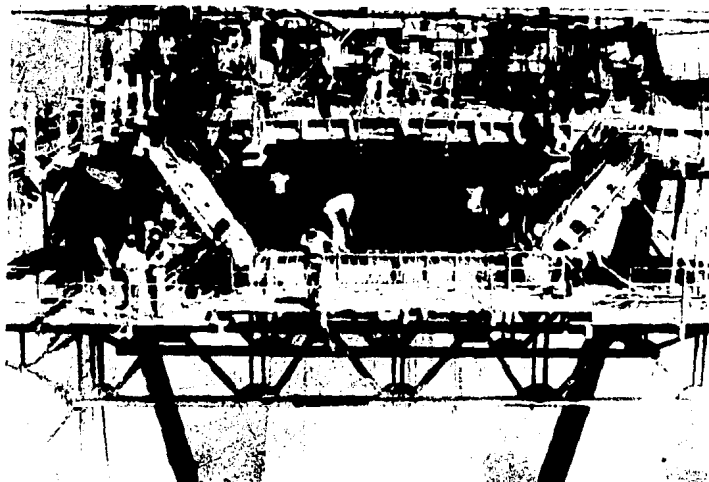
El corrimiento de los carros se hizo simultáneamente para mantener el equilibrio y evitar una mayor deflexión. El dispositivo también cuenta con una contraflecha para absorber las deformaciones por carga. Una vez fijado el carro se procede a colocar el acero de refuerzo.

#### ARMADO DEL ACERO DE REFUERZO

En la colocación del acero, se hicieron elementos prearmados para ganar tiempo acelerando así el proceso constructivo, esto es, abajo en el patio se armaron las almas, ya armadas se transportaron al sitio en donde son elevadas con grúa torre, colocándolas posteriormente en su sitio definitivo.

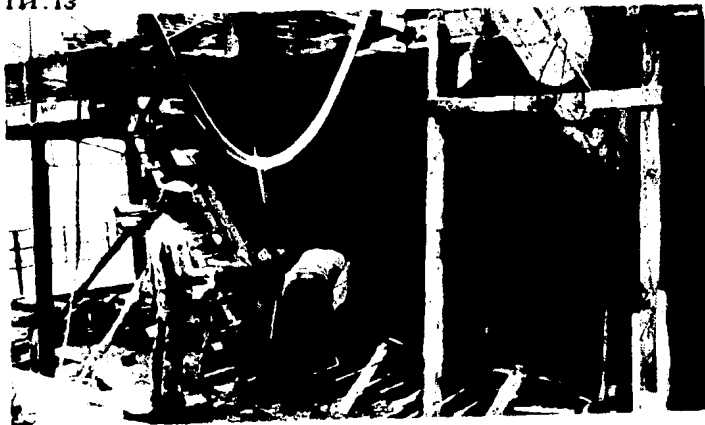
Únicamente se armó sobre el molde las losas inferior y superior. Después se insertaron las piezas precoladas ligando sus varillas de continuidad al acero de refuerzo de la dovela (fig.III.12).

fig.III.12



El armado se hizo simultáneo en ambos extremos del voladizo para evitar el desequilibrio. Ya armados los volados, se colocan los ductos del presfuerzo tal y como lo indica el proyecto. Una vez revisado el armado y la perfecta colocación de los ductos se continuó con el colado (fig.III.13).

fig.III.13



#### **COLADO DE DOVELAS**

Como el proyecto exige un módulo de elasticidad muy alto para el concreto, alrededor de  $265 \times 10^6$ , se llevó un cuidado muy especial en la fabricación del mismo, para lo cual se seleccionaron los agregados que fueron de los bien graduados: Agregado grueso triturado de  $3/4''$  a base de grava de origen basáltico; arena con finos del grado 0.66 (malla #4).

En la dosificación se vigiló la proporción del cemento que se utilizó en el concreto de  $F'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$  de resistencia a la compresión.

El agua que se empleó fué potable. También se emplearon aditivos para alcanzar la resistencia del 75% a las 56 hrs., y dependiendo si el suministro de concreto se realizaba por bomba, se utilizaba un aditivo que fuera fluidizante y a la vez acelerante; y en caso contrario un aditivo que fuera acelerante únicamente.

Específicamente, para el colado del doble voladizo de la

Pila 14, como ya se contaba con el resto de la estructura del Puente del apoyo No. 21 a la Pila No.15 se ideó colocar un puente colgante a base de cables de presfuerzo ligando la última dovela del voladizo lado agua de la Pila No.15 con la dovela sobre la pila No.14 lado tierra.

Para lograrlo se colocaron dos cables a cada extremo de las dovelas y sobre estos madera bien sujeta, de esta manera quedó listo el puente colgante.

Para el suministro del concreto se colocó una bomba sobre la Pila No.15, se instaló tubería de aluminio de 5" de diámetro especial para concreto, la cual se tendió hasta la dovela por colar a través del puente colgante.

Para transportar el concreto de la planta dosificadora a la bomba, se construyó un acceso provisional en el apoyo No.21 para permitir el paso de las ollas a la calzada del Puente. Gracias a estos artificios se logró ahorrar tiempo en los colados de las dovelas, ya que el bombeo del concreto fue horizontal y no vertical.

En la colocación del concreto se utilizaron vibradores de inmersión para el perfecto acomodo del mismo y para dar un buen acabado aparente se emplearon vibradores de contacto ó de pared.

El colado del concreto se inició del extremo de la dovela hacia la junta de colado como requisito normativo, con el objeto de que no se cuartee ó se agriete el concreto debido a las deformaciones por peso propio del elemento.

La secuencia en la colocación del concreto del doble voladizo fue : Losa inferior lado agua y losa inferior lado tierra; almas de un lado y almas del otro y finalmente losa superior de uno y losa superior de otro, para mantener el equilibrio del doble voladizo.

Después de colocadas las losas superiores, se les dió un acabado plano rústico para recibir la carpeta asfáltica. Una vez iniciado el fraguado del concreto se aplicó una membrana de curado para que lo mantuviera a una temperatura ambiente sin pérdidas de humedad.

Para la fabricación del concreto, se contó con una dosificadora con capacidad de 20 m<sup>3</sup>/hr., para proporcionar debido a la velocidad de colocación, un abasto de concreto y un ritmo de colado suficiente para evitar tiempos muertos.

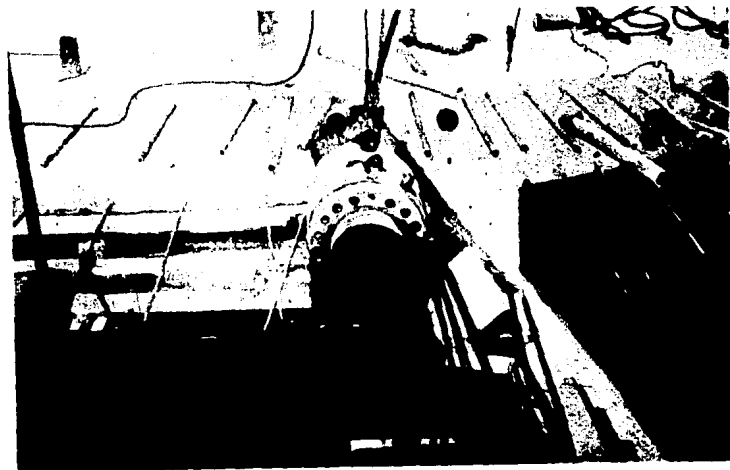
La dosificadora es del tipo ORU y consta de : un mezclador de 1/2 m<sup>3</sup>; dos brazos con cangilones para alimentar los agregados, silos para cemento y básculas para determinar las cantidades de todos los elementos, ya que la proporción se llevó a cabo por peso.

#### TENSADO DE LOS ELEMENTOS DE PRESFUERZO

Para realizar el tensado del presfuerzo longitudinal, se comprobaba mediante los muestreos y ensayos efectuados de acuerdo a las Normas de Construcción de la S.C.T. que el concreto tuviera el 75 % de la resistencia requerida.

Las muestras de cilindros de concreto se toman durante el colado de las etapas de cada dovela. Tronándose a las 36 hrs. de haber finalizado el colado para asegurarnos que el concreto tenga dicha resistencia a la compresión. Si los resultados son óptimos, se prosigue el tensado de los cables de presfuerzo (fig.III.14).

fig.III.14



Durante el tiempo de espera de los resultados del concreto, se efectúa el habilitado de los cables de presfuerzo; se desmadejan las bobinas que previamente fueron almacenadas, protegidas de la intemperie y cubiertas de aceite soluble para evitar la oxidación.

Estos cables son de acero del tipo 19T-15, que son cables

de 19 torones de 5/8" de diámetro y del tipo 12T-15 que son cables de 12 torones de 5/8" de diámetro. Para poder hacer uso de estos cables, previamente se sometieron a pruebas de: Ruptura, tensión, módulo de elasticidad y comprobación de área.

Una vez que se tubo el reporte de control de calidad especificando que los cables resultaron óptimos, se prosedió con su habilitado.

Los cables por tensar deben tener una longitud igual a la distancia que haya de la dovela "X" lado agua a la dovela "X" lado tierra más 1.80 mts. que se les anexa, correspondiendo 0.90 mts. a cada lado para que puedan ser sujetados con los gatos y facilitar el tensado.

Cortados a su longitud exacta, se unen todos los torones y se cabecean con soldadura de bronce con una asa ó agarradera, de donde se coloca una guía que se insertará en el extremo del ducto, dicha guía será jalada con un malacate hasta que salga el cable por el otro extremo del ducto.

Una vez insertado el cable se le corta el obús ó cabeza de bronce con disco de corte, para evitar se alteren sus propiedades internas debido al calentamiento producido por el equipo de oxi-corte.

Posteriormente se coloca la placa circular semicónica de anclaje con el número de perforaciones de acuerdo al tipo de cable, se colocan las cuffas y se hace el tensado con el gato K-500 para el tipo 19T-15 y el gato K-350 para el tipo 12T-15.

El presfuerzo transversal, que es un cable del tipo 12 $\phi$ -7, ó sea, 12 torones de 7 mm. de diámetro, el cual lleva un anclaje muerto en un extremo y por el otro se efectúa el anclaje por tensado con el gato U-6 ó S-5 (fig. III.5).

Cada dovela de 3.50 mts. lleva 7 cables de presfuerzo transversales repartidos en esta longitud. Los anclajes muertos van cuatrapeados, ó sea, anclaje muerto lado aguas arriba de un cable, anclaje muerto aguas abajo del siguiente cable y así sucesivamente.

En el tensado de los cables, se coloca el gato en el anclaje vivo para aplicar la tensión requerida, llevando un registro de las fuerzas que se van aplicando, primero de 150

a 100 bares, después a cada 50 y ya próximos a la fuerza total se van aplicando a cada 20 ó 10 bares.

fig.III.15



En este registro se medirán las deformaciones ó elongaciones del cable para checarlas con las de proyecto, con la fórmula :

$$\frac{ER}{EP} + \frac{LR}{LP} + \frac{AR}{AP} = AL$$

Donde : ER = Módulo de elasticidad real  
EP = Módulo de elasticidad de proyecto  
LR = Longitud real  
LP = Longitud de proyecto  
AR = Area real  
AP = Area de proyecto  
AL = Alargamiento real

La protección de los cables de presfuerzo después de realizado el tensado, se hizo con una inyección de lechada para rellenar los vacíos existentes entre el ducto y el cable, evitando así que penetren elementos corrosivos que puedan disminuir las áreas de los torones.



## **C).-TRAMO ORTOTROPICO :**

### **DESCRIPCION :**

La estructura es llamada ortotrópica, por la combinación abreviada de las raíces latinas, Ortos (forma) y Tropos (recta ó lineal) que quiere decir : Forma recta ú ortotropa.

Las estructuras ortotrópicas tuvieron su origen hace aproximadamente 50 años en Alemania, donde sus primeras aplicaciones se realizaron en cascos de embarcaciones y en la construcción de fuselajes para aviones. También a la inminente necesidad de reducir el peso y al mismo tiempo el costo de puentes móviles y de gran claro.

Conforme avanzaban los métodos de análisis y diseño, se experimentó que la capacidad a la ruptura de las estructuras ortotrópicas era hasta 10 veces mayor que la calculada según las teorías convencionales. A través de los conocimientos adquiridos con este tipo de estructuras, se manifiesta un ahorro aproximado del 50% en acero estructural comparado con otro tipo de estructura metálica.

El cálculo de resistencia del panel metálico se encauzó hacia la capacidad última, más que en los esfuerzos permisibles de la teoría elástica. En consecuencia se tienen estructuras demasiado esbeltas.

El tramo ortotrópico está formado por 27 dovelas, correspondiendo trece a la margen derecha y trece a la izquierda, identificándose por letras cuyo inicio es de la "A" hasta la "M"; y una correspondiente al cierre del claro central designada con la letra "N" (fig.III.16).

## **1.C).-FABRICACION DE DOVELAS METALICAS**

### **1.1.C).-FABRICACION DE SUBENSAMBLES EN PLANTA**

Las dovelas metálicas que son parte de la superestructura en el tramo central de acero ortotópico, debido a sus dimensiones y a la necesidad de un buen control de calidad, fueron fabricadas en los talleres de industrias Churubusco en la Ciudad de Monterrey, N.L.

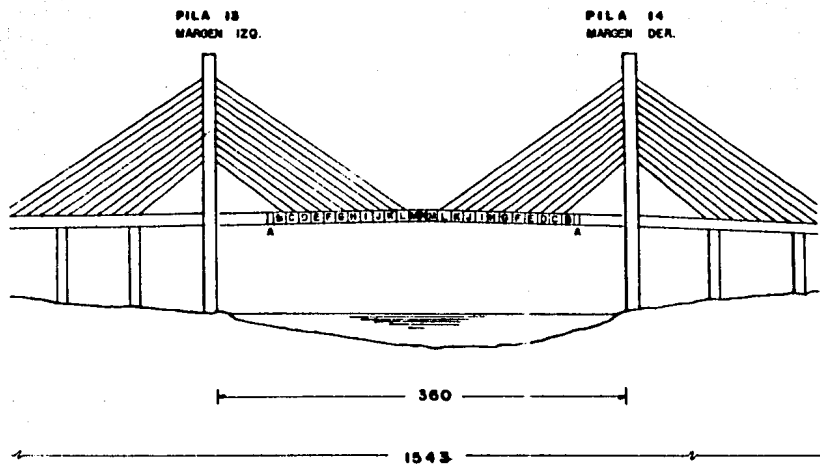
Para su fabricación hubo necesidad de utilizar el 100% de las instalaciones de la planta por espacio de más de 2 años.

fig.III.16

Los tirantes en el lado tierra se anclan a los mogotes de concreto reforzado, cuyo armado se realiza junto con el de la dovela de concreto correspondiente, para que al colar obtengamos un conjunto homogéneo.

Estos mogotes también están provistos de tornapuntas de concreto, que sirven como refuerzo a esta zona de anclaje.

### P U E N T E T A M P I C O



Para la estiba de la estructura en la misma planta se procedió a hacer una presentación de sub-módulos de todas y cada una de las dovelas completas, con el fin de verificar la coincidencia de las partes y corregir en su caso las variaciones existentes.

Cada dovela está integrada por 9 subensambles ó sub-módulos (fig.III.17), que es la manera más estable del comportamiento de la estructura, además, facilitando el transporte de las mismas a la obra, para ejecutar en esta el mínimo de soldadura.

Las dovelas "A" se armaron en su totalidad en los talleres de industrias Churubusco y transportadas al lugar de la obra, con el fin de servir como guías para la fabricación de las dovelas restantes (fig.III.18).

Los sub-ensambles tienen pesos variables de 4 a 9 toneladas.

El acero que se utilizó para la fabricación de las dovelas fué importado con características adecuadas para tener una mayor resistencia a la corrosión. Este acero es del tipo normativo ASTM-572 grado 50, con resistencia a la ruptura de 4,570 kg/cm<sup>2</sup> y límite elástico de 3,515 kg/cm<sup>2</sup>

La geometría de las dovelas está dada por una placa de acero, reforzada con rigidizadores en forma trapezoidal en el sentido longitudinal del Puente y 3 marcos en cada dovela a cada 4 mts. en el sentido transversal formado por perfiles "T" por lo que se denomina de forma ortotrópica.

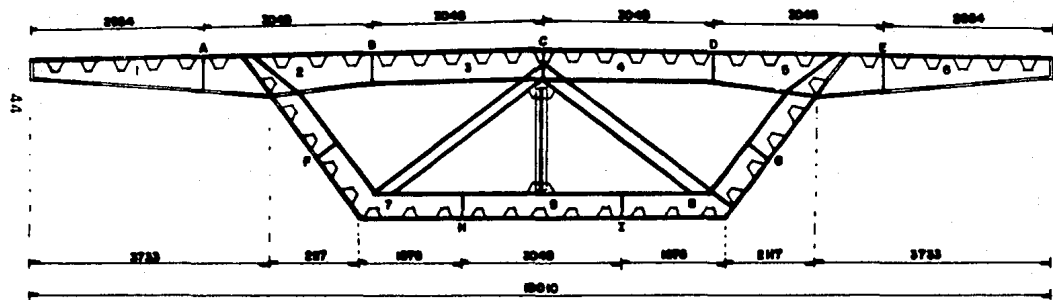
Adicionalmente a los sub-ensambles, se fabricaron también las piezas para anclaje de tirantes, con la particularidad de la variación en ángulo de cada uno de ellos debido a la posición de los cables (fig.III.19).

Para los cortes de los elementos que forman los marcos de la dovela, se utilizó un pantógrafo de 6 sopletes dirigidos con sistema de rayos laser.

### 1.2.C)-INSTALACIONES PARA FABRICACION

El sitio de la obra, lugar en donde se llevó a cabo el proceso de armado y preparación de las dovelas para su fabricación, consiste en un patio de aproximadamente 30,000

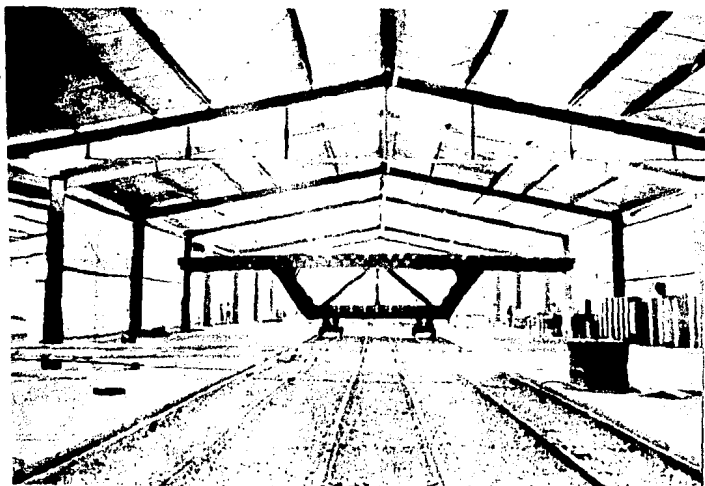
NOMENCLATURA UTILIZADA EN EL ARMADO DE DOVELAS METALICAS



1.- SUBMÓDULO	Nº 1	A= JUNTA	ENTRE	SUBMÓDULOS	1 Y 2
2.- SUBMÓDULO	Nº 2	B= JUNTA	ENTRE	SUBMÓDULOS	2 Y 3
3.- SUBMÓDULO	Nº 3	C= JUNTA	ENTRE	SUBMÓDULOS	3 Y 4
4.- SUBMÓDULO	Nº 4	D= JUNTA	ENTRE	SUBMÓDULOS	4 Y 5
5.- SUBMÓDULO	Nº 5	E= JUNTA	ENTRE	SUBMÓDULOS	5 Y 6
6.- SUBMÓDULO	Nº 6	F= JUNTA	ENTRE	SUBMÓDULOS	7 Y 2
7.- SUBMÓDULO	Nº 7	G= JUNTA	ENTRE	SUBMÓDULOS	6 Y 6
8.- SUBMÓDULO	Nº 8	H= JUNTA	ENTRE	SUBMÓDULOS	6 Y 7
9.- SUBMÓDULO	Nº 9	I= JUNTA	ENTRE	SUBMÓDULOS	6 Y 6
10.- TORNAFUERTES					

m<sup>2</sup>, contando con un sistema de instalaciones completo, permitiendo llevar en forma sistemática el tratamiento requerido para ensamblar las dovelas en la superestructura (fig. III.20).

fig. III.18



Para poder formar la plataforma del patio se tubo que mejorar el terreno, dado que una parte estaba formada por material rocoso, realizando un corte de 25,000 m<sup>3</sup>, siendo la parte restante material pantanoso tipo turba, debido a esto se procedió a mejorar la capacidad de carga del terreno.

#### **CORTES :**

Para los cortes se usó un tractor D-8, equipado con escarificador.

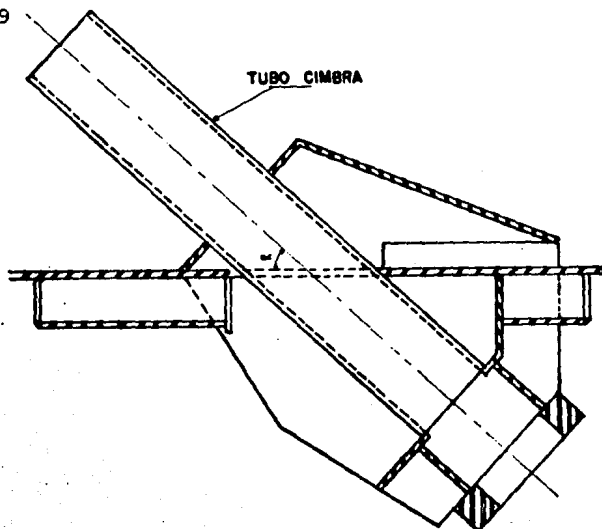
Así mismo para el retiro del material contamos con un cargador frontal de tipo 45-B sobre neumáticos dada la versatilidad de este, finalmente para el acarreo del material no aprovechable utilizamos volteos con capacidades de 8 y 12 m<sup>3</sup>.

#### **FORMACION DEL TERRAPLEN : (45,000 m<sup>3</sup>).**

Para la formación de terraplenes compactados al 90, 95 y 100% generalmente se homogeneiza ya sea adicionando agua ó

quitándole el exceso al material, esto se logra, mediante el uso de una motoconformadora, en nuestro caso del tipo CM-17, cuya función es mezclar, tender, conformar y afinar.

fig.III.19



#### MOGOTE DE ANCLAJE INFERIOR EN DOVELA METALICA

La cimentación se efectuó mediante el uso de Compactadores vibratorios utilizando un rodillo liso vibratorio autopropulsado, empleando el modelo VAP-70.

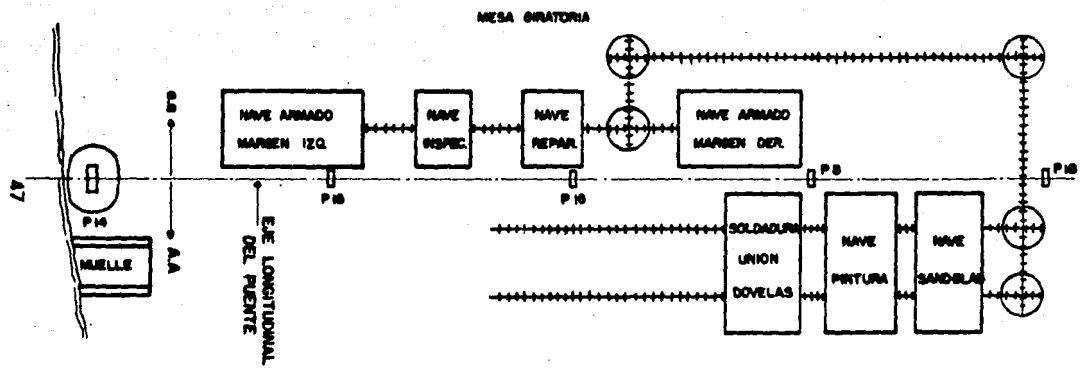
Dadas las condiciones de desplante para el terraplén fué necesario estabilizarlo, adicionando al material de banco un componente a base de calizas en proporción 1:4, incrementando así su valor relativo de soporte.

La formación del terraplén se realizó en capas con un espesor máximo de 30 cms. hasta llegar a la elevación de proyecto que nos garantice la estabilidad.

Construido el terraplén se aplica un riego de impregnación a base de asfalto tipo FM-1, con una temperatura de 80°C., teniendo especial cuidado que antes de la aplicación se

encuentre la superficie por tratar libre de polvo y exenta de humedad.

Fig. III.20



PLANTA DE INSTALACIONES PROVISIONALES

En esta actividad empleamos una petrolizadora de 6,000 lts. de capacidad, vigilando que el tren de riego tenga perfectamente limpias las espreas para obtener un riego uniforme, además, se controla la velocidad del vehículo máxima de 10 Km/hr. con una proporción de riego de 1.5 lts/m<sup>2</sup>.

## **NAVES DE FABRICACION**

Finalmente se coloca un sistema de vias, con 6 naves del tipo industrial, destinadas a una función específica y que son :

### **1.-NAVES PARA ARMADO DE DOVELAS**

Existen dos naves de este tipo, una destinada a la fabricación de las dovelas que se montan por la margen derecha y otra para las de la margen izquierda, localizadas aguas abajo del eje longitudinal del Puente, con dimensiones de 40.00 x 22.50 mts. cada una, en las cuales se presentan y unen los sub-módulos.

Cada nave está equipada con : grúa viajera, sistemas de gateo hidráulico, mecánico y estructuras auxiliares diseñadas para la fijación y nivelación de las piezas durante su armado.

Contando también con una mesa de armado, de concreto reforzado con capacidad para alojar 3 dovelas consecutivas ; tomando en cuenta la curvatura de proyecto en la rasante del tramo principal con el objeto de que al armar las dovelas, se haga la revisión de coincidencia entre las mismas y evitar posibles correcciones en el momento de su colocación en la superestructura.

### **2.-NAVE DE INSPECCION Y REPARACION**

Concluido el armado de las dovelas se realiza su transferencia de las naves de armado a la nave de inspección y reparación, donde se realizan las pruebas de control de calidad requeridas, a base de radiografía y en su caso corregir las deficiencias probables de la soldadura ejecutada durante el armado.

La nave de inspección y reparación está ubicada entre las naves de armado y sus dimensiones son 45.00 x 22.50 mts.



### 3.-NAVES DE SAND-BLAST

Una vez que la soldadura de la dovela a sido aprobada, se traslada a la nave de Sand-Blast que es totalmente cerrada, localizada al igual que las restantes Naves aguas arriba del eje longitudinal del Puente.

Esta nave es doble ya que en una parte alberga la dovela perteneciente a la margen derecha y en la otra la correspondiente a la margen izquierda. Además está equipada con extractores de polvo e inyección de aire, con el fin de proporcionar a la estructura un tratamiento en las mejores condiciones.

Por encontrarse la obra en un lugar cercano al mar y estar expuesta al ataque de agentes corrosivos la estructura (dovela) se debe proteger convenientemente.

Con personal especializado se lleva a cabo una limpieza agresiva con chorro de arena a metal blanco, con un perfil de anclaje de 2 milésimas de pulgada.

### 4.-NAVE DE PINTURA

La nave de pintura posee las mismas características que la nave de Sand-Blast, pero está destinada a la aplicación de pintura protectora a base de poliuretanos, equipada con un sistema de control de humedad y temperatura con la finalidad de que durante la aplicación de esta protección, la estructura no esté expuesta a los agentes locales.

Aquí se aplica a la estructura un primario a base de altos sólidos de zinc, suspendidos en una resina de Metano y un acabado en la parte interna con una capa de 20 milésimas de pulgada de espesor y 30 en la parte externa con un poliuretano termo fijo de alta durabilidad.

### 5.-NAVE DE UNION DE DOVELAS

En esta nave se efectúa la union de dos dovelas, para formar una sección de 24.00 x 18.10 mts. con peso de 155 tons., ya que debido a lo reducido del programa de construcción, se izaron en pares, logrando de esta forma abatir los tiempos.

El tiempo promedio requerido para esta actividad fué de

12 días por junta.

Posteriormente son transportadas al patio de almacenaje, en espera de ser izadas.

El transporte de las dovelas entre naves y patios, se lleva a cabo por medio de un sistema de vías y montadas sobre carros de transferencia (trucks); donde los cambios de dirección, debido a lo reducido del espacio, se solucionaron por medio de mesas redondas giratorias (fig.III.21), con giros de 360°.

## 2. C). -SOLDADURA DE SUBMODULOS

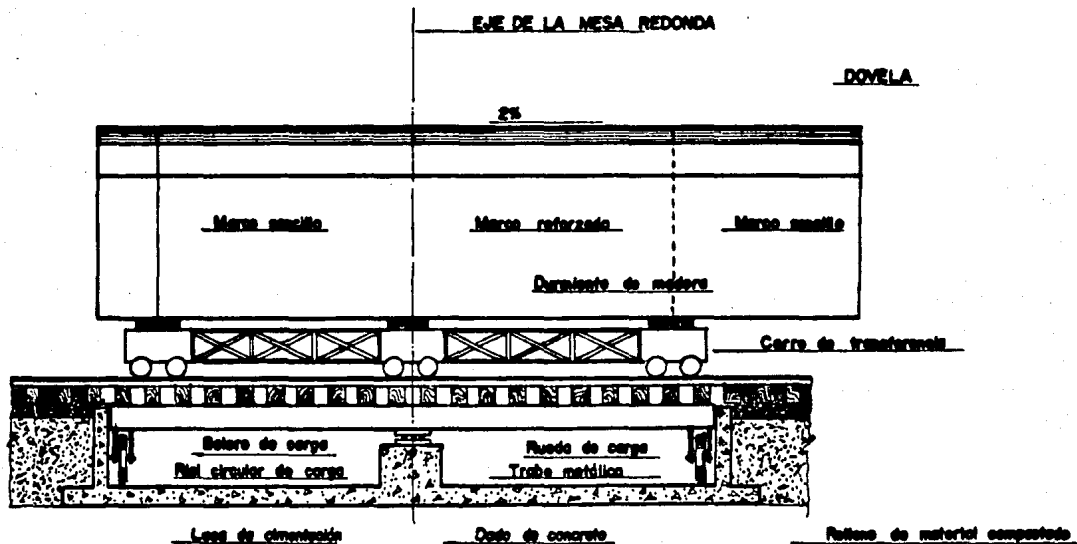
Dada la complejidad que presentan los materiales a la deformación cuando se les aplica un calentamiento obliga en el caso de los elementos sujetos a soldadura a definir un procedimiento adecuado basado en normas como la AWS (AMERICAN WELDING SOCIETY) y la experiencia del manejo de estas estructuras, para evitar concentraciones de esfuerzos residuales que originarían rotura de los cordones, deformaciones mayores a las permisibles, faltas de fusión del material base con el de aporte, escorias y colonias de poros.

Por lo anterior para el armado de las dovelas en los talleres del Puente Tampico se eligió la secuencia siguiente :

### 2. C. 1). -PREPARACION DE LOS SUBMODULOS

En la mesa de presentación ubicada junto a cada una de las Naves de Armado se realizan las siguientes operaciones :

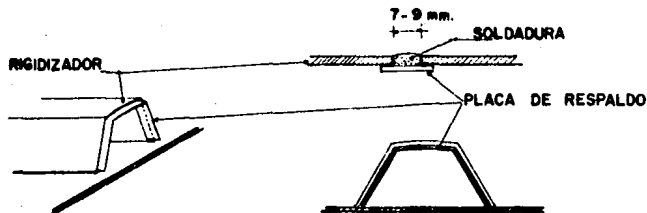
- Corrección de fallas geométricas de los sub-módulos.
- Control geométrico de las dimensiones generales de las piezas, planeidad, ángulos y correcciones geométricas generales eventuales.
- Colocación de las placas de respaldo que se necesitan para la soldadura de los rigidizadores entre dovelas (fig.III.22)
- Se efectúa el reforzamiento en la zona de presfuerzo (para paso de cables de costura) en las dovelas "A" y algunos de los refuerzos necesarios en zonas de soporte del dispositivo de izaje.



51

MESA REDONDA Y CARROS DE TRANSFERENCIA

fig.III.22

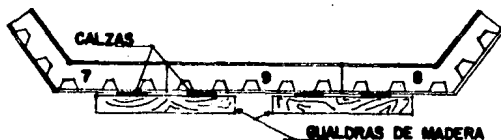


## 2.C.2.).-PRESENTACION DE UNA DOVELA

Para el armado de los sub-módulos que constituyen una dovela es necesario realizar las fases siguientes :

### 1.-PRESENTACION Y PUNTEO DE LOS SUB-MODULOS 7, 8 Y 9

-Por medio de la grúa viajera instalada en la nave de armado se realiza la colocación de estos sub-módulos, sobre dos líneas de gualdras de madera niveladas con calzas.



-Ubicación longitudinal y transversal contra la dovela anterior, respetando la apertura de soldadura (3 mm) en la junta de las mismas.

-Se verifica también el alineamiento promedio de las dovelas.

-Se realiza la colineación del eje longitudinal y el control de las dimensiones transversales en la otra extremidad.

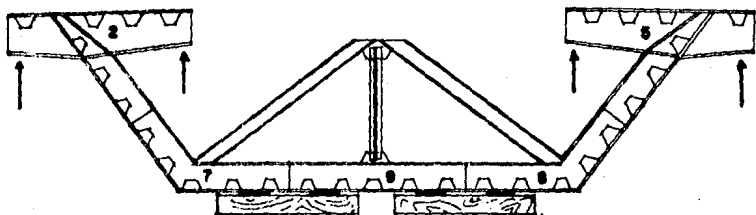
-Colocación de clams en las juntas longitudinales así como en la junta de unión con la dovela anterior.

-Punteado de las dos juntas longitudinales y después la soldadura de los patines de los marcos al 100% simultáneamente en las uniones 7-9 y 9-8, se pueden soldar las 6 uniones al mismo tiempo ó en pares.

-La flecha longitudinal y transversal máxima admisible, en estas piezas de fondo de la superestructura es de  $\pm 10$  mm.

## 2.-PRESENTACION Y PUNTEADO DE LOS SUB-MODULOS 2 Y 5

-Apoyo contra cuñas laterales y sobre puntales verticales.



-Conjugación contra la dovela anterior y control dimensional de nivelaciones y pendientes transversales.

-Colocación aproximada de las dos tornapuntas (punteandolas abajo solamente).

-Colocación de clams, punteado longitudinal y unión de los patines de los marcos al 100% .

## 3.-PRESENTACION Y PUNTEADO DE LOS SUB-MODULOS 3 Y 4

-Apoyo sobre tornapuntas y puntales adicionales de los sub-módulos 3 y 4.

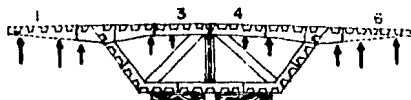
-Conjugación contra la dovela anterior y control de la pendiente transversal.

-Se distribuyen las aperturas entre las tres juntas longitudinales.

-Colocación de clams.

-Punteado de las juntas longitudinales en el orden siguiente : 3/4, 3/2, 4/5, con el fin de que las retracciones al momento de efectuar el punteado no se perturben mutuamente.

-Soldadura de los patines de los marcos al 100%.



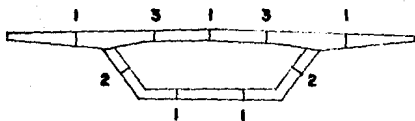
#### 4.-PRESENTACION Y PUNTEADO DE LOS SUB-MODULOS 1 Y 6

-Estas piezas quedan soportadas por medio de gatos manuales los cuales están ubicados sobre las mesas de apoyo, fabricadas para su soporte (ver figura anterior).

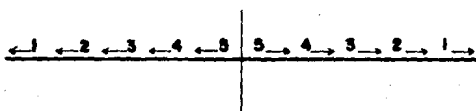
#### 2.C.3).-SOLDADURA DE UNA DOVELA

Posteriormente a la colocación de clams y punteo de todas las juntas longitudinales de la dovela, se inicia la soldadura de estas, según la secuencia siguiente :

- 1.-Se procede a realizar la limpieza requerida antes de aplicar la soldadura.
- 2.-Soldadura de tornapuntas de los marcos sencillos, contraventeo en cada uno soldando la junta superior y después la inferior.
- 3.-Una vez que están soldados todos los patines al 100%, iniciar el fondeo en uniones.
- 4.-Realización de un primer paso manual en las juntas longitudinales según el orden indicado a continuación.



A fin de reducir las retracciones se efectúa este primer paso conocido como paso Peregrino.



5.-Realización de los otros pasos de juntas longitudinales.  
Tipos de procedimientos recomendados :

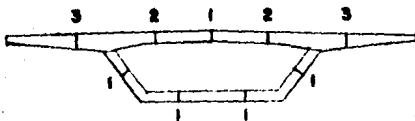
**-AUTOMÁTICO.**

- \* Para todas las juntas de losa superior.
- \* Para las partes accesibles (3/4) de las juntas de la losa superior.

**-MANUAL.**

- \* Para las juntas longitudinales a la mitad del alma.
- \* Para las partes restantes de la losa inferior, cerca de los marcos.

Orden recomendado :



- 6.-Soldadura de las almas de los marcos :  
Se efectúa manualmente del extremo inferior al superior.
- 7.-Colocación del mogote de anclaje :
  - Control de la posición y orientación del mogote.
  - Punteo del mogote.
  - Presentación y punteo del tornapunta.
  - Control de alineamiento de los patines del tornapunta.
  - Soldadura de los patines.
  - Soldadura de losa superior del mogote.
  - Soldadura del alma de los marcos del tornapunta.
  - Control topográfico completo de las dovelas a cada 50 cms. en cada una de las juntas longitudinales.

## 2. C. 4). -COLOCACION DE PLACAS DE ALINEAMIENTO

Una vez que se finaliza la realización de una dovela en la junta entre ésta y la anterior se colocan placas.

Estas placas permiten ulteriormente respetar la misma posición relativa de estas dovelas, hasta que sea soldada la junta entre un par de dovelas en la nave de unión ó que sea soldada la junta en la superestructura.

## 2. C. 5). -CONTROL GEOMETRICO

### 1.-CONTROL DE UBICACION GENERAL

Después de haber armado completamente las dovelas (I+1) e (I+2) se colocan dos líneas de testigos en cada dovela, a una distancia de 5.32 mts. de cada lado del eje longitudinal (fig.III.23).

Estos testigos punteados sobre la lámina superior de las dovelas permitirán posteriormente verificar el :

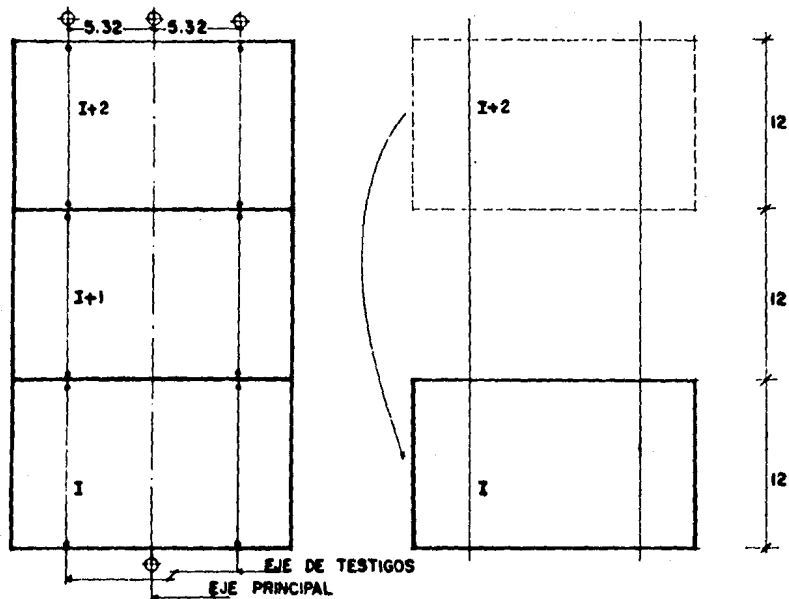
- Alineamiento en planta.
- Perfil de nivelación.
- Horizontalidad transversal.

Particularmente los testigos de la dovela (I+2) se utilizarán para realinearla luego de su traslado de la posición I.

Serán utilizados posteriormente al momento del montaje de las dovelas en la superestructura.



fig.III.23



## 2.-CONTROL DE LA GEOMETRIA DE LA SECCION TRANSVERSAL

En cada fase de presentación de los sub-módulos se realiza el control geométrico de las dimensiones principales de elevaciones relativas entre losa superior y losa inferior, particularmente a plomo de los testigos.

## 3.-JUNTA PERIMETRAL ENTRE DOVELAS

Se cuidó particularmente el lograr la regularidad de 3 a 4 mm. en la apertura de esta junta, con el fin de reducir la retracción diferencial entre las losas superior e inferior al momento de soldar.

## 4.-CONTROL DE RETRACCION DIFERENCIAL

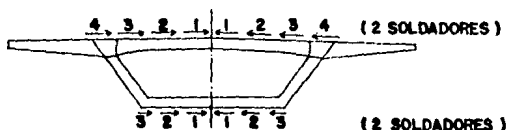
Se utilizan los testigos también para medir la retracción de la junta superior.

Se agregaron puntos para medición en la losa inferior en el caso de que se encontraran para las primeras dovelas, retracciones diferenciales superiores a 1 mm., tomándose las medidas de compensación necesarias para las dovelas siguientes.

## 2.C.6).-SOLDADURA DE LA JUNTA DE UNION ENTRE DOVELAS

Para la unión de dos dovelas ya sea que esta se realice en la nave de unión ó en la superestructura, la soldadura de las láminas se regirá por las fases siguientes :

- 1.-El primer paso es manual en losas inferior y superior, con el fin de limitar la retracción diferencial de soldadura, utilizando en esta primera fase el "PASO DEL PEREGRINO", recomendando un equipo de trabajo por parejas.



- 2.-Soldadura manual en las almas.

Después de terminar lo anterior se sueldan las almas con soldadura hacia arriba y paso de Peregrino.

- 3.-Después de haber terminado el paso manual en las losas superior ó inferior se pueden iniciar los otros pasos en soldadura de arco sumergido en aquellas áreas que tengan posición plana.

## SOLDADURA DE LOS RIGIDIZADORES

- Control de las soldaduras de láminas 12 hrs. después de su realización.
- Colocación de los rigidizadores de unión.

Con el fin de ganar tiempo al soldar en la nave de unión, se ha preparado, presentado y numerado previamente en planta cada uno de los rigidizadores de unión, ya que

esta fase de ajuste es particularmente delicada y lenta si no se ha preparado.

## ORDEN DE SOLDADURA PARA UN RIGIDIZADOR

Soldadura manual sobre placas de acero de respaldo, apertura 8 a 10 mm.

Se hace la soldadura de los rigidizadores en orden, iniciando con el más simétrico posible con respecto al eje del tablero.

### 2.C.7).-ESPECIFICACIONES PARTICULARES PARA LA SOLDADURA

#### 1. -EQUIPO

1.1. Para conformar ó enderezar piezas y preparación de biseles.

-Sopletes, lanzallamas (comunmente conocido como calentín), pulidoras, reglas de control, niveles, clams, etc.

1.2. Soldadura de unión

-Se fabrican diversas estructuras de protección contra efectos climáticos como : vientos, lluvias , etc.

-Instalación de un desviador de agua para impedir el escurrimiento sobre la junta en curso de soldadura.

-Se instalaron extractores de humo en el interior del tablero, con el fin de mantener un ambiente limpio en el área de trabajo, eliminando gases tóxicos que además de bajar los rendimientos representan un alto riesgo.

1.3. Equipos para soldar

-Equipos de soldadura manual en electrodos de amperaje superior a 300 amper.

-Equipos de soldadura automática en "Arco Sumergido".

-Placas de respaldo de cobre de 38 x 8 mm. para las juntas longitudinales y transversales de unión.

Para fijar la placa de respaldo se puede puntear ó atornillar.

- Placas de respaldo de acero para rigidizadores de 38 x 4 mm.
- Los electrodos de soldadura manual fueron del tipo de bajo hidrógeno E-7018 de acuerdo a recomendación del código AWS.
- Se fabricaron hornos para secar estos electrodos al momento de su almacenaje a una temperatura de 120°-180°c
- Para la soldadura exterior de unión en superestructura se utilizó una pasarela especial para poder colocar las placas de respaldo, quitarlas y verificar la profundidad de penetración, finalmente concluir con la aplicación de soldadura.
- Se calificó a cada uno de los posibles soldadores y operadores.
- Se realizaron ensayos de resistencia sobre muestras tanto automáticas como manuales según la norma AWS.

## 2.C.8).-CONTROL DE SOLDADURA

- Control visual de los biseles.
- Control de preparación de piezas antes de soldar.
- Control permanente de los parámetros de soldadura durante su ejecución.
- Control posterior a la soldadura.
- Inspección visual de ambas caras de todas las soldaduras.
- Control de las juntas de unión entre dovelas.

Los procedimientos propuestos para obtener un 100% en el control de soldaduras fueron por ultrasonido y radiografía. De la comparación de los resultados de ambos se determinó el procedimiento a utilizar, eligiendo finalmente el radiografiado.

### 3). -IZAJE DE DOVELAS METALICAS

Una vez realizada la unión de dos dovelas en pares y llevadas al sitio de almacenamiento, se procede a ejecutar el transporte de las mismas hasta el sitio de izaje y montaje. Para lo cual se han construido algunas obras auxiliares ó complementarias como son :

#### OBRAS AUXILIARES :

##### MUELLE DE EMBARQUE :

Debido a que el tramo ortotrópico queda sobre el cauce del Río y a las dimensiones de las dovelas dobles de 24.00 mts. de longitud con peso de 155 tons., se presentó la necesidad de construir un Muelle de embarque para realizar las maniobras de colocación de las dovelas sobre un chalán, logrando así el traslado por agua hasta el sitio de izaje, agilizando de esta manera el proceso (fig.III.24).

El Muelle se construyó en la margen derecha del cauce del Río, ya que en ésta se encuentran todas las instalaciones de procesamiento de las dovelas metálicas, quedando situado a unos cuantos metros aguas arriba de la Pila 14.

El Muelle de embarque es una especie de Dársena central con un calado de 2.40 mts. provisto con dos puentes de maniobras tanto aguas arriba como aguas abajo.

Para su construcción se hincaron 4 hileras de pilotes con tubería de acero de 20" Ø con una longitud promedio de 30 mts., incluyendo un tablestacado transversal con el mismo tipo de tubería y con una longitud de 14 mts. sirviendo como muro de contención.

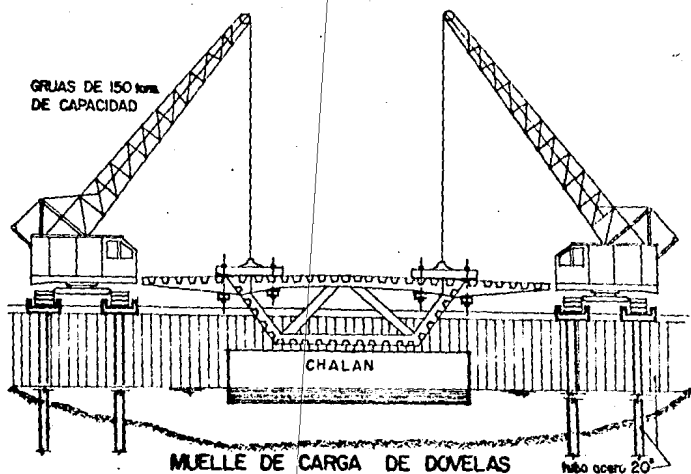
Sobre cada hilera de pilotes lleva un piso de operación para grúa, con losa de concreto armado y con trabes de liga con sección de 30 x 40 cms.

##### DISPOSITIVO DE IZAJE :

Para el izaje de las dovelas se diseñaron 4 estructuras de acero, dos para cada margen (fig.III.25).

Cada estructura consta de dos vigas de alma llena de 35.616 mts. de longitud, unidas con celosías metálicas que

fig. III.24



funcionan como rigidizadores, un mástil central de 11.24 mts. de altura, un mecanismo de izaje a base de torones y gatos hidráulicos con mordazas de gran capacidad.

Cada uno de los gatos de izaje cuenta con 7 torones T-15, los cuales están equipados en cada uno de sus extremos con dispositivos que sirven para acoplarse a los balancines que servirán de elementos de sujeción para el izaje.

El sistema de izaje se coloca sobre la superestructura ya construida del tramo principal, quedando una mitad apoyada sobre la calzada y la otra en voladizo.

Para evitar la deflexión de ésta al momento del izaje queda tensada dicha viga en sus extremos al mástil principal. El apoyo trasero se fija con barras Dywidag a la dovela ya construida.

Para el traslado por agua de las dovelas desde el Muelle de embarque hasta el sitio de izaje, se utilizó un chalán de 12 x 30 mts. con una capacidad de 500 tons. de desplazamiento. El chalán está conformado a base de pontones.

fig.III.25



El izaje de las dovelas requirió ser coordinado con la Capitanía de Puerto, para conocer a que hora del día, la demanda de navegación por el Río es menos fluida para evitar que el oleaje producido por las embarcaciones no interfiriera las maniobras de posicionamiento.

Es necesario conocer las condiciones climatológicas que se presentarán en el transcurso de la maniobra tales como : Nortes, vientos mayores de 30 km/hr., niebla ó lluvia. De esta forma se evitan riesgos innecesarios.

Cumpliendo con lo anterior, se podrán realizar las maniobras de izaje y montaje siguiendo el procedimiento que a continuación se describe :

## **-DOVELA DE TRANSICION Y PROCEDIMIENTO DE IZAJE**

### **DESCRIPCION**

La dovela de transición es el elemento que sirve para ligar la estructura de concreto con la parte metálica, sus dimensiones son : 1.25 x 18.10 mts. de sección cajón. Esta dovela es también llamada híbrida.

Es sujeta con 50 cables del tipo 12T-13 mm. nominados como de costura, siendo su función principal de sostener durante la etapa de construcción la estructura metálica de la parte alirantada en voladizo.

Luego de haber hecho el cierre, estructuralmente trabaja como viga continua, transmitiendo todos los esfuerzos a la pila principal.

La dovela de transición está reforzada con un diafragma ó pantalla que une la sección transversal del cajón dando así mayor rigidez al elemento a la hora de comprimirse por la acción de las tensiones que se les aplican a los tirantes.

El acero de refuerzo utilizado varía desde la varilla del No.4 hasta la No.12. Siendo una parte de continuidad viniendo del concreto y otra de adherencia ó anclaje que va soldada en forma de "U" al marco metálico, para formar el cuerpo de esta dovela, alojándose una cantidad aproximada de 14 tons. de acero.

El volumen de concreto utilizado fué de 31 m<sup>3</sup> y de F'c=350 Kg/cm<sup>2</sup>. En cuanto se tiene una resistencia establecida del concreto se procede al tensado de los 50 cables de costura.

A continuación se describe el proceso constructivo.

### **PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO**

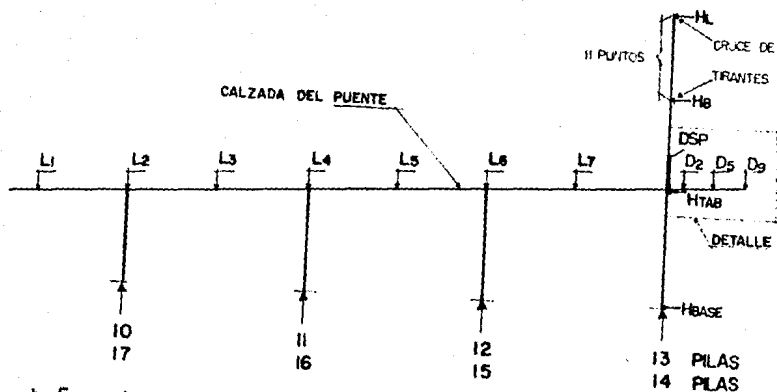
#### **I.-ESTADO INICIAL (Doble voladizo terminado)**

1.-Una vez concluido el doble voladizo y antes de colocar el dispositivo de izaje se toman las siguientes mediciones :

- a.-En el tablero : los niveles en los 11 puntos indicados a continuación ; L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>, L<sub>3</sub>, L<sub>4</sub>, L<sub>5</sub>, L<sub>6</sub>, L<sub>7</sub>, DSP, Dz, D<sub>5</sub>, D<sub>6</sub> (fig.III.26 y detalle III.26). Esto se realiza para tener un control de las deformaciones que se presenten durante el proceso de izaje.

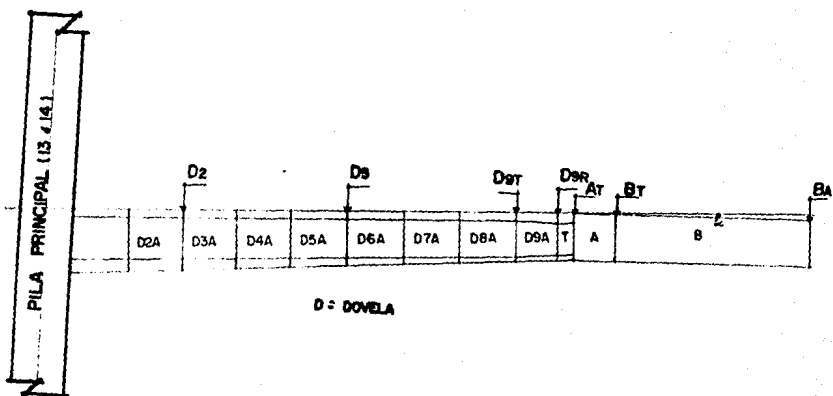


fig. III. 26



b.-En el pilón se colocan puntos de referencia H BASE, H TAB, HB hasta HL. Realizándose estas lecturas desde una estación en tierra.

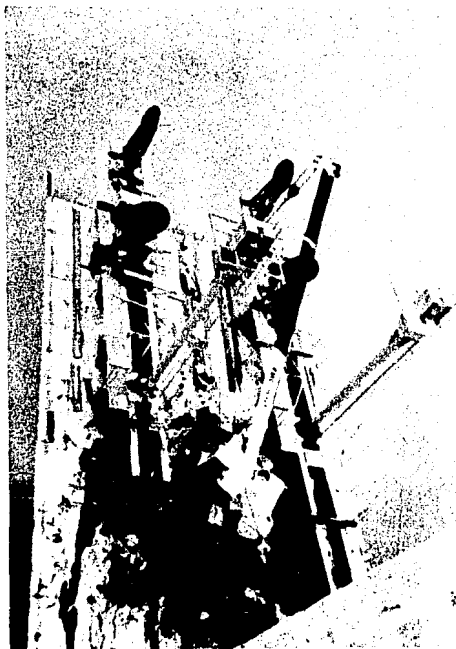
detalle. III. 26



## I.I.-IZAJE Y AJUSTE DE DOVELAS (A+B)

1.-Montaje y colocación de la estructura de izaje (fig.III.27).

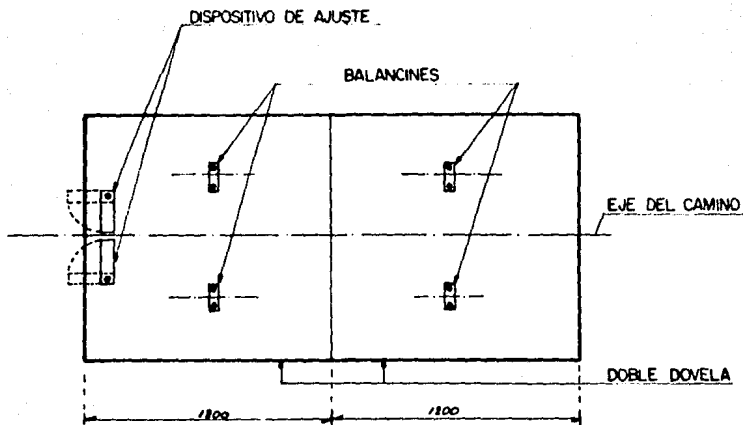
fig.III.27



3.-Transporte de dovelas dobles, de la nave de ensamble al Muelle con dos grúas del tipo LS-518 y capacidad de 150 tons cada una, auxiliándonos con dos eslingas y estrobos de 2" de diámetro, para evitar deformaciones en el elemento. Depositándola en el chalán previamente atracado en el muelle. Los balancines tipo A y B, sujetos a estas por medio de barras Dywidag tensadas a 20 tons.

El dispositivo de ajuste estará instalado en el elemento a izar; dicho dispositivo deberá estar girado 90° hacia el eje del camino e impedido todo movimiento (fig.III.28).

fig. III.28



4.-Antes de iniciar el izaje :

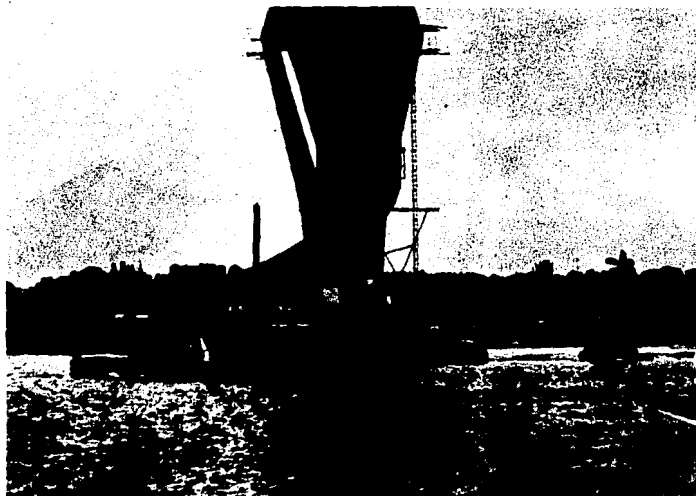
- a).-Se verifica que la velocidad del viento no sea superior a 30 Km/hr., esto se hace con aparatos montados en la obra misma, además se debe contar a partir de ese momento y hasta las siguientes 5 hrs. con el pronóstico del viento.
- b).-Se informa a la Capitanía de Puerto, del día y la hora de la operación no efectuando las maniobras sin tener el visto bueno de la misma.
- c).-Se verifica la buena operación de los equipos hidráulicos, del sistema de izaje.
- d).-Se checa en el apoyo trasero del dispositivo de izaje, que la holgura entre las barras Dywidag de retención y el borde del agujero que atraviesa el tablero sea de 10 mm. mínimo. De lo contrario se aumenta esta medida, después de haber desmontado las barras.

Este será un requisito imprescindible que deberá supervisarse para poder aprobar el izaje de las dovelas.

e).-Una vez concluido lo anterior, se dá la orden de acercar la dovela al punto de izaje, auxiliándonos con dos remolcadores (fig.III.29).

El chalán es posicionado mediante dos zancos ó lápices instalados diametralmente opuestos en el mismo, para evitar movimientos que interfieran en la maniobra

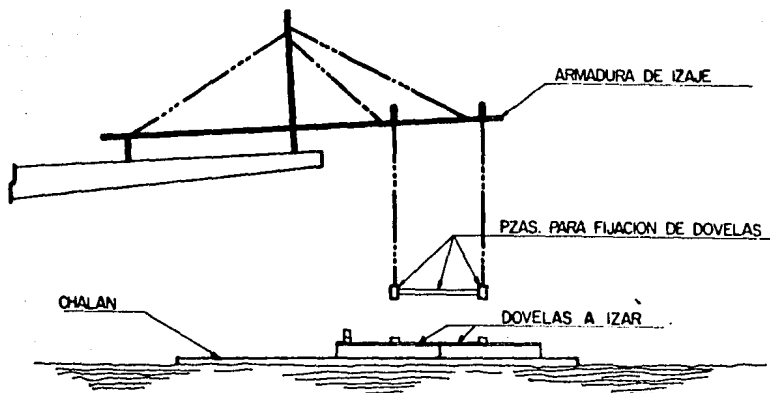
fig.III.29



f).-Estando las dovelas sobre el chalán y este directamente debajo del punto de izaje, se bajan los 4 cables compuestos cada uno, de 7 torones de  $\emptyset = 15$  mm. Los cuales están inmovilizados para no torcerse, por medio de separadores formados por tubería de 4" acopladas a los balancines (fig.III.30).

g).-Una vez que los cables están abajo, se conectan a sus respectivos balancines, mediante pernos y arandelas, una vez fijos se igualan las tensiones de cada uno de los torones que los componen.

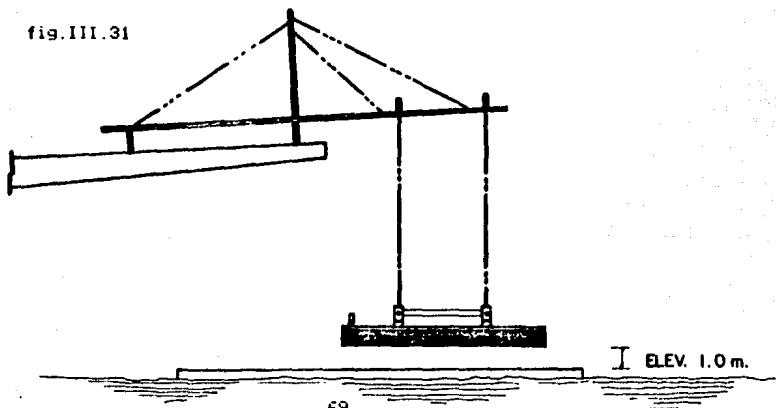
fig. III.30



5.-Inicio del izaje.

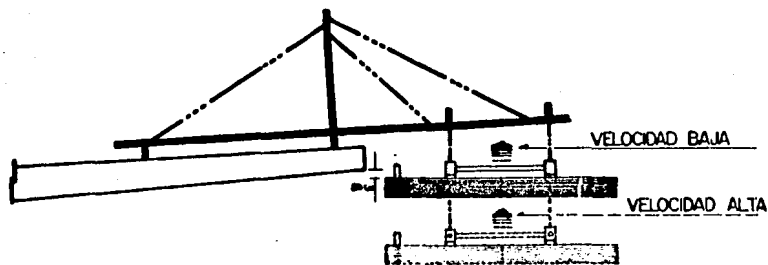
- a).-Se checan presión y deformaciones de la estructura de izaje, haciendo un primer levantamiento de las dovelas hasta 1.00 mt. por encima del nivel del chalán (fig. III.31).

fig. III.31



- b).-Terminado lo anterior, se procede a izar la doble dovela, a una velocidad de 1/2 mt/min. (ALTA). (fig.III.32).
- c).-Una vez que las dovelas han alcanzado una altura considerable, se procede a retirar el chalán.
- d).-Cuando el elemento que se está izando, está a una distancia vertical de 50 cms. de la parte inferior del ya existente, se cambia la velocidad de izaje, de alta a baja, verificando en campo si hay necesidad de girar horizontalmente el elemento, en caso de ser así, se hace con los gatos superiores delanteros.

fig.III.32



- e).-Se continúa izando con la velocidad de aproximación (BAJA); hasta que la parte superior del elemento izado, quede a unos 5 cms. arriba de la parte superior del elemento existente (fig.III.33).

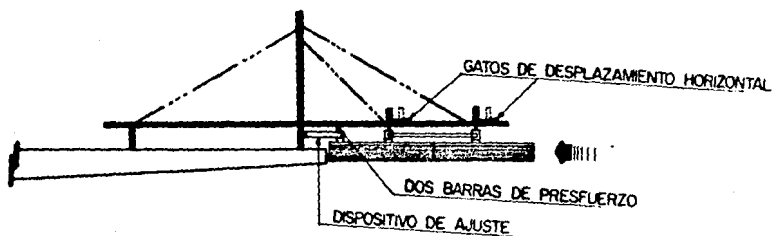
UBICACION DE LA DOVELA METALICA CON RESPECTO  
A LAS YA CONSTRUIDAS

- f).-Se gira el dispositivo de ajuste, a su posición definitiva, se colocan las barras Dywidag faltantes

Para luego tensar a 40 tons. cada una de las dos barras.

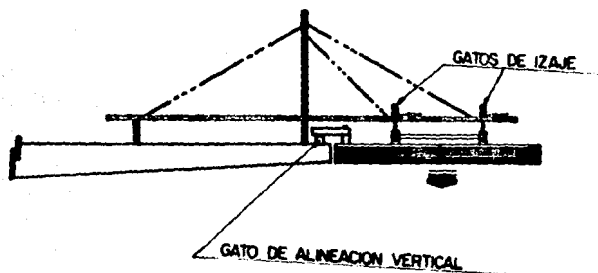
- g).-El elemento izado se desplaza longitudinalmente hacia atrás, mediante los gatos de desplazamiento longitudinal, ubicados sobre el patín superior de las vigas principales de la armadura.

fig. III.33



- h).-Se baja el elemento izado mediante los gatos de izaje, hasta que el dispositivo de ajuste descanse en el gato de alineación vertical, se checa la correspondencia entre los niveles del elemento izado y el elemento existente (fig. III.34).

fig. III.34

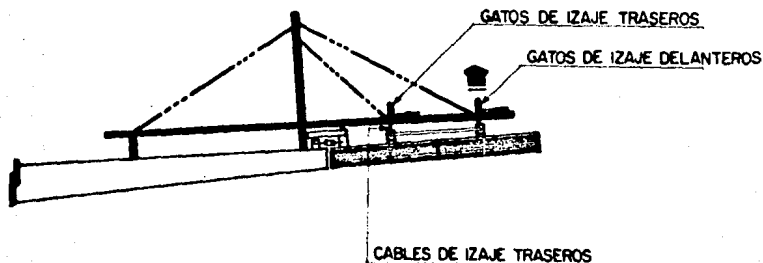


-Si no hay correspondencia de niveles, se miden las diferencias, levantando nuevamente el elemento con los gatos de izaje (fig.III.35).

-Se ajusta según la diferencia medida, el nivel del tornillo de los gatos de alineación vertical, del dispositivo de ajuste.

-Hecho esto, a continuación se repite el paso "h".

fig.III.35



i).-El ajuste longitudinal del elemento, hacia afuera, se podrá hacer por medio de los gatos de desplazamiento horizontal (fig.III.36).

j).-El ajuste en dirección hacia la pila, se hará mediante los templadores del dispositivo de ajuste, en el caso de dovela metálica-metálica dejando una separación entre estas de 1/8" (3 mm.).

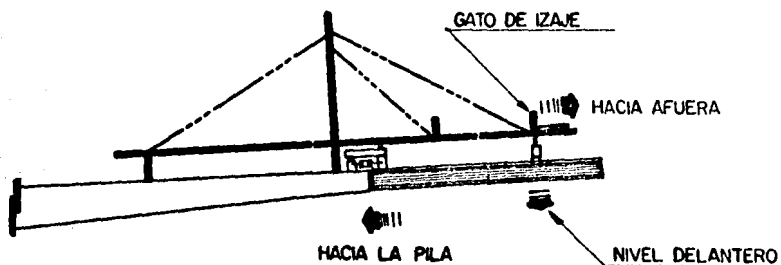
El dispositivo de ajuste sirve además como apoyo para llevar a cabo la soldadura de la junta transversal.

k) -En los dos puntos anteriores se inmoviliza longitudinalmente el elemento con los templadores, luego de haber chequeado que longitudinalmente los pasadores estén alineados en las orejas que unen dovela y tablero montado.



- l).-Una vez nivelado el elemento izado, se levanta únicamente con los gatos de izaje delanteros, para descargar totalmente los cables traseros de izaje, checando esta descarga, por medio de la presión en los gatos traseros.
- m).-Se ajusta el nivel delantero y eventualmente se ajusta longitudinalmente como lo indicado en los puntos "i", "j", y "k", para permitir la introducción de los pasadores en las orejas de ubicación que unen la dovela al tablero ya montado.
- n).-Se checa y en caso contrario se procurará que en esta fase de ajuste final, los gatos de tornillo internos, del gato de izaje estén en posición tal que puedan detener la carga.

fig.III.36

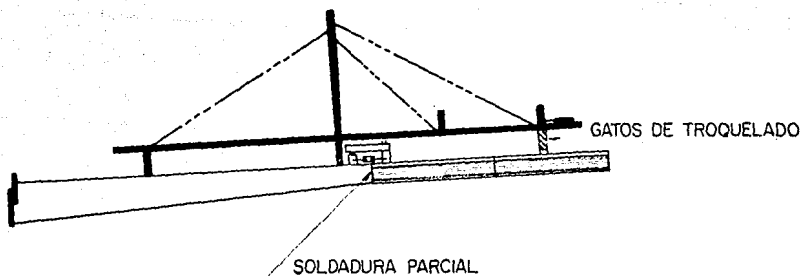


- o).-Una vez que los pasadores de las orejas están introducidos, se ponen en contacto los gatos de tornillo internos dentro del gato.

#### ACTIVIDADES PARA EL COLADO DE LA DOVELA DE TRANSICION

- 6.-Se ajustan los gatos de troquelado que están a 40 cms. de los cables de izaje delanteros y en la parte inferior de la viga principal, bloqueándolos con la tuerca de seguridad, posteriormente se sobretensan los cables de izaje (fig.III.37).
- 7.-Colocación de troqueles anclados a la dovela "9" Río (D9r) con la dovela "A" tierra (DAr) ver detalle III.26, para impedir el movimiento transversal del conjunto A+B en relación al eje longitudinal del Puente.

fig.III.37



8.-Colocación de obra falsa que consta de : 2 vigas IPR de 16" colgadas con barras Dywidag que a su vez se apoyan en yugos metálicos apoyados en las dovelas "9" y "A" (fig.III.38) para cubrir la longitud de la dovela de transición de 1.25 x 18.10 mts. y de sección cajón; posteriormente se coloca la cimbra exterior ó cara de contacto, y después de haber terminado el armado se procede a colocar la cimbra interior.

fig.III.38





10.-Insertado de los 50 cables de costura tipo 12T-13 mm., así como sus anclajes respectivos. Una vez terminadas las actividades de los incisos 8 y 9 se procede al colado de cuatro troqueles de concreto que forman parte de la misma estructura, para que cuando tenga una  $F'c = 80 \text{ Kg/cm}^2$  se les dé una tensión inicial de 40 tons. a cada uno de los cables que quedan dentro de los límites de los troqueles, con el fin de absorber las deformaciones causadas por efecto de temperatura, mejor conocidas como deformaciones por gradiente térmico.

11.-Chequeo a las 6 hrs. del colado.

-De la resistencia del concreto.

-De la geometría (Niveles DSP, D/(Bt-BA) ver fig.III.26

12.-Por último se realiza el colado de todo el elemento, cuidando el acomodo del concreto mediante el uso de vibradores de inmersión y evitar caídas mayores de 0.90 mts. de altura del concreto para evitar la segregación del mismo.

Cabe aclarar, que el remate entre el marco metálico y concreto se le adicionó un aditivo expansor de volúmen, para evitar vacíos entre el elemento por colar y el alma del marco, garantizando el correcto envejecido del mismo.

A partir del inciso No. 6 se realizan nivelaciones diarias de los siguientes puntos : DSP, Dz, Ds, Dp, Ar, Br y BA a las horas siguientes : 7:00, 12:00, 15:00, 18:00, 20:00 y 22:00 hrs (detalle III.26).

Estas medidas tienen por objeto la evaluación de los movimientos relativos eventuales en el concreto y en la dovela metálica debidos a : efectos térmicos en el dispositivo de izaje, así como a las cargas agregadas durante estas operaciones.

- 13.-Utilizando las medidas anteriores, se calcula la ubicación relativa definitiva del conjunto (A+B) con respecto al voladizo de concreto.

NOTA : se efectúa medición diaria de HBASE, HTAB, Hb-HL.

- 14.-Nivelación diaria a las 7:00 hrs. con el objeto de llevar un control, estadístico de deformaciones, considerando la misma temperatura del elemento, ya que con esto podremos detectar cualquier deformación mayor a la prevista.

- 15.-Antes de tensar el tirante "B" se retira tanto obra falsa y cimbra utilizada en dovela de transición.

- 16.-Luego de lograr una resistencia de  $F'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$ , se tensan los cables de costura restantes a una tensión de 90 tons. c/u. Retensando al 100% los cables alojados en los troqueles de concreto.

- 17.-Inyección de cables de costura.

- 18.-Tensado del tirante "B".

- 19.-El ajuste final de tensión se efectúa a las 7:00 hrs. chequeando simultáneamente los puntos siguientes : Ls, L7, DSP, Dp, Br, BA, HBASE, HTAB, Hb, HL (ver fig.III.26 y detalle III.26).

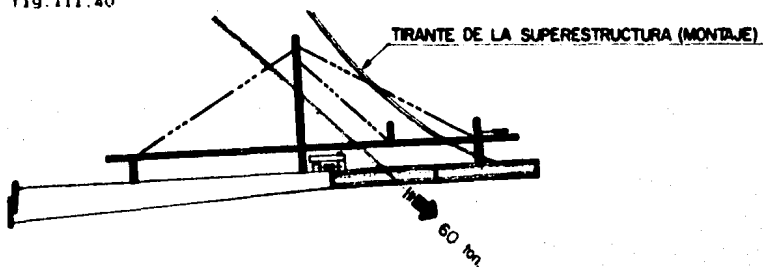
#### ACTIVIDADES SECUENCIALES DURANTE EL IZAJE DE DOVELAS

- 1.-Para el 1er. izaje, dovelas A+B, las cargas producto de

los equipos de construcción se ubican sobre la dovela sobre pila.

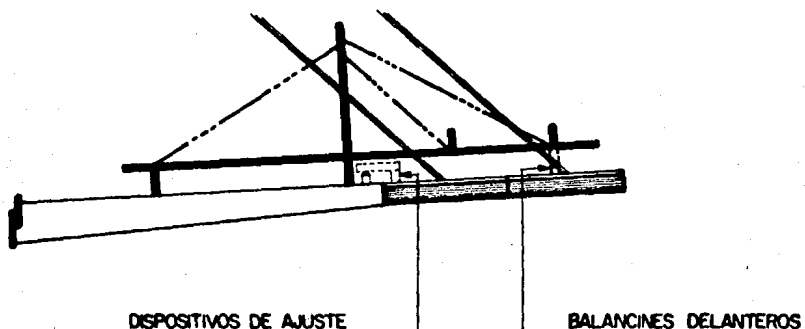
- 2.-Tensado del tirante "B"
- 3.-Corrimiento y fijación del dispositivo para izaje de dovela (C+D).
- 4.-Desplazamiento de la pasarela de trabajo utilizada en la aplicación de soldadura exterior, hacia junta A-B. Esta pasarela fué construida especialmente para ejecutar la soldadura de unión por la parte exterior de las dovelas, para evitar el exceso de humedad y la influencia del viento, se aisló con lámina en forma de túnel falso.
- 5.-Izaje de dovelas (C+D).
- 6.-Se desplazan las cargas de los equipos de construcción a una distancia de 20 mts., partiendo del eje transversal de la pila hacia lado agua.
- 7.-Ubicación de pasarela en junta por soldar (B-C).
- 8.-Se conforma la junta a soldar mediante clams y de esta forma colocar la placa de respaldo (material de cobre) en la parte inferior de la junta por soldar e iniciar el fondeo de la misma.  
  
Aplicación de soldadura al 100% efectuando las reparaciones correspondientes.
- 9.-Se procede a la colocación de los tirantes "C" y "D" aplicandouna tensión de montaje de 60 tons. en cada uno (fig.III.40).

fig.III.40



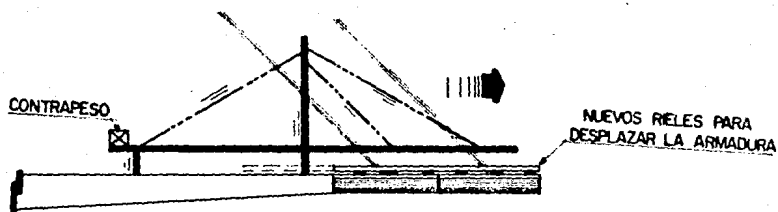
- 10.-Se checa que la tensión en los cables de izaje sea nula; en caso contrario, se sobretensan los cables para aflojar la tuerca de los gatos de tornillo del gato de izaje.
- 11.-Se retiran los balancines al igual que sus pasadores y arandelas (fig.III.41)
- 12.-Se destensan por pares las barras Dywidag correspondientes al apoyo trasero del dispositivo de izaje y se desarman los dispositivos de ajuste para retirarlos.

fig.III.41



- 13.-Se inician los preparativos para el corrimiento del dispositivo de izaje, dejando tanto pasarela como equipos de construcción en su actual posición (fig.III.42).
- 14.-Izaje de dovelas (E+F).
- 15.-Se efectúa el cambio de posición de los equipos de construcción; quedando ubicados a la altura del tirante "B", de igual forma posicionar pasarela sobre junta (D-E).
- 16.-Se observa que las distancias mínimas de ubicación de las cargas originadas por los equipos de construcción y pasarela, partiendo de la última dovela posicionada son 30 y 24 mts. respectivamente.
- 17.-Repitiéndose el ciclo en las dovelas restantes.

fig. III.42



## D). -COLOCACION Y TENSADO DE TIRANTES

### ESTUDIOS ESPECIALES

Dada la importancia de la obra en particular para el tramo principal, se realizaron diversos estudios de carácter especial.

Por ser los tirantes los elementos esenciales para la estabilidad de la estructura se dedicó especial cuidado en estudiar y probar todos sus componentes.

Para seleccionar los anclajes y el acero que integraron los tirantes, se realizaron varias pruebas en un laboratorio de Suiza. Ensayándose 4 tipos distintos de anclajes fijándose la utilización de torones galvanizados con resistencia a la ruptura de 18,000 kg/cm<sup>2</sup> de bajo grado de relajación y baja susceptibilidad a la corrosión con capacidad útil determinada por un esfuerzo máximo de 45% del de ruptura y para una acción dinámica de dos millones de ciclos con rango de variación de 15 a 20 kg/mm<sup>2</sup>.

El anclaje elegido permite retensar ó destensar cuantas veces se requiera durante el proceso constructivo, empleando los mismos torones.

Elegido el acero que cumple con las especificaciones (Acero de Bélgica), se efectuaron otras pruebas similares para determinar las gráficas de Smith y Wohler que sirven para verificar el diseño de los tirantes.

Por elementos finitos se estudió la distribución de esfuerzos en la zona donde convergen el cuerpo de las pilas principales, el mástil y el tablero; además, en la zona de anclaje de los tirantes con el tablero y las tornapuntas.

### ASPECTOS GENERALES DE DISEÑO

El cálculo de flexión general del tramo atirantado en la parte fundamental del diseño se resuelve por medio de un programa de computadora preparado específicamente para este tipo de estructuras.

Las características que intervienen en el análisis son : de cimentación, la interacción suelo-estructura, el proceso constructivo del tablero, las diferentes condiciones de



carga y los diversos efectos que se generan en la propia estructura debido a sus propiedades geométricas, elásticas, de resistencia y las deformaciones diferidas del concreto.

En consecuencia, se requiere conocer con precisión los módulos de reacción lateral del subsuelo y las características y propiedades de todos los materiales.

Este proceso de cálculo requiere el empleo de un número de horas muy importantes de computadora para determinar por aproximaciones diagramas envolventes de elementos mecánicos, diagramas de esfuerzos, fuerzas de presfuerzo provisional y definitivo hasta determinar en número, tipo de cables, sus trayectorias y las tensiones iniciales que deberán aplicarse en los tirantes durante la construcción.

De igual forma la determinación de las deformaciones del tablero en todo el proceso de ejecución, para garantizar la geometría prevista en el proyecto, para la obra terminada.

También se analiza la flexión transversal y torsión del tablero y los efectos que se producen en las losas y en las almas, principalmente en la zona de los anclajes de los tirantes y las tornapuntas.

#### PROCESO CONSTRUCTIVO

La selección de una estructura ortotrópica en el claro central del Puente Tampico, es sumamente económica ya que su peso es cuatro veces menor al que correspondería a una estructura de concreto presforzado, por lo tanto, se reduce el número y peso de los tirantes, trayendo como consecuencia que las cargas en las pilas principales y en la cimentación sea mucho menor.

Los tirantes requeridos en el Puente Tampico, son únicamente cuarenta y cuatro piezas; veintidos tirantes en cada pila principal; once lado tierra y once lado agua.

Estos se prefabrican sobre el viaducto del Puente; irán anclados en su extremo superior al mástil y serán tensados por su extremo inferior desde la parte interior de las dovelas.

Cada tirante está compuesto por un ducto ó vaina de polietileno que sirve como funda a los torones del cable.

Para definirlo se hizo una serie de estudios y pruebas con

varios tipos de ductos ó vainas de diferente material, siendo mejor el polietileno, ya que satisfizo todas las pruebas, además de ser flexible, liviano y de montaje más rápido. Cumple con la función fundamental de proteger los torones contra la corrosión y el ambiente al que van a estar expuestos.

El principal elemento componente de los tirantes son los torones galvanizados de acero de 5/8" de diámetro, su número varía de treinta y tres a sesenta torones cuya área transversal es de 150 mm<sup>2</sup> c/u. El más corto tiene 58.60 mts. de longitud y el más largo 206.19 mts.

Otro componente importante del tirante es la cera especial derivada del petróleo, que se inyecta para rellenar el ducto y dar una protección adicional al acero ya que contiene inhibidores químicos de corrosión. Para elegir el material se hicieron pruebas de diferentes productos.

La lechada de cemento no se utilizó ya que además de su peso excesivo presenta problemas de agrietamiento al momento del izaje y reparación.

Los materiales con resultados óptimos fueron la grasa y la cera especial, ya que son inyecciones de tipo viscoso, por lo tanto, sirven para amortiguar la vibración de los torones.

Finalmente se optó por la cera especial, por ser líquida a 105°C., brindando buen revestimiento a todos los torones, siendo al mismo tiempo mínima la presión dinámica necesaria para su inyección. Así mismo su reversibilidad y estabilidad físicas son óptimas y de un costo menor al de la grasa con silicones.

#### **METODO DE INYECCION DE LOS TIRANTES**

##### **A. -Posición del tirante al inyectar**

El tirante está ubicado en el área de prefabricación con la pendiente natural del puente 4.85%.

Siempre se fabrican por pares, los tirantes se colocan sobre el área de inyección en el mismo sentido (anclaje vivo lado Río).

Siempre la inyección será hecha por el respiradero ubicado en el punto más bajo.

A fin de conservar una zona libre de inyección (sin cera) del lado del anclaje vivo, se levantará esta extremidad a una altura que permita realizar esta interrupción a la longitud requerida de la zona sin inyección.

Se inyectará esta zona libre después del tensado.

**B.-Respiraderos**

Los respiraderos están realizados por medio de silletas de 2 pulgadas fijadas a la vaina de polietileno.

Cada respiradero está equipado de conexiones con válvulas 1/4 de vuelta en 2".

Estos al igual que las conexiones y válvulas, son de presión de servicio compatible, con las condiciones de inyección.

**C.-Entrega de la cera**

La cera es entregada a la obra a la temperatura adecuada (105°C.).

La cantidad útil teórica está incrementada un 30% en cada entrega para conservar un "Colchón de Seguridad".

Las pipas de transporte llevan un sistema de calentador, regulador de temperatura y equipadas con bomba de engrane (12,000 lt/hr).

**D.-Inyección**

Al salir de la bomba de la pipa, se conecta el circuito de inyección de obra.

El circuito de obra es compatible con la cera caliente (Mangueras, así como válvulas y empaques).

**E.-Tiempo de Inyección**

La operación de inyección de un tirante comprende de un tiempo de 1/2 hr. a partir de la entrada de la cera dentro de la vaina tomando en cuenta el caudal de bomba (12,000 lt/hr.) y la cantidad de cera por inyectar.

**F.-Purga al salir el producto**

Los orificios de purga están equipados de una manguera para vaciar en tambores limpios una cantidad de aproximadamente 200 litros por tirante.

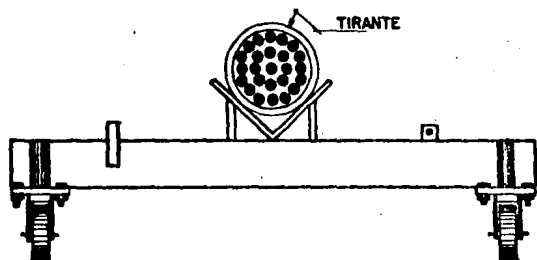
Los tambores llenos son tapados y conservados para la inyección final, después del tensado. El mantenimiento se reduce a controlar las deformaciones del tablero y al control eventual de la tensión de los tirantes.

### FABRICACION Y MONTAJE DE TIRANTES

En primer lugar se habilitan las vainas y el cable formado por torones, lo más cercano posible al sitio de colocación.

Se ideó fabricar una serie de carritos portantes (fig.III.43) que forman un tren, donde se van montando los tramos de tubo recto de vaina, para ser soldados mediante un dispositivo especial y ligero.

fig.III.43



Carritos para transporte de tirantes

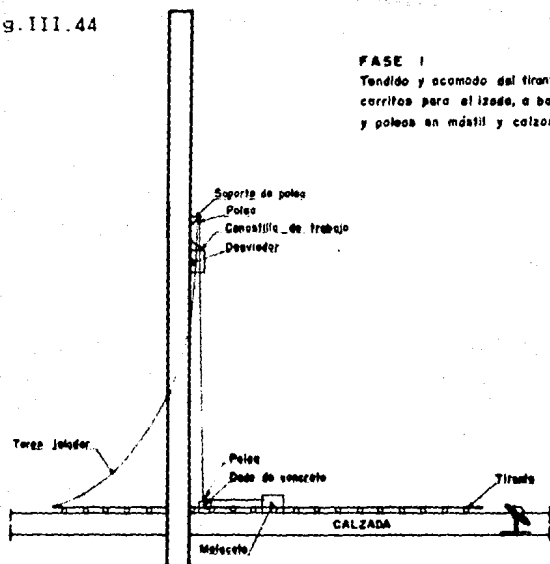
Soldados los tramos, se inserta el cable prefabricado formado por los torones cortados a la longitud de acuerdo a las distancias reales de anclaje a anclaje.

Ya que se ha insertado completamente el cable en la vaina, se procede a la inyección de la cera vegetal, que se aplica a una temperatura cercana a los 105°C.; la ideal para que fluya dentro de la vaina y entre los torones sin alterar las propiedades del acero.

Concluido el proceso de fabricación, se prosigue con su transportación hasta el lugar de izaje y colocación.

Para garantizar el izaje y colocación de los tirantes hasta conseguir su anclaje en la parte superior del mástil, se estudiaron diferentes métodos y procedimientos siendo el más seguro y viable el siguiente (figs.III.44 y III.45) :

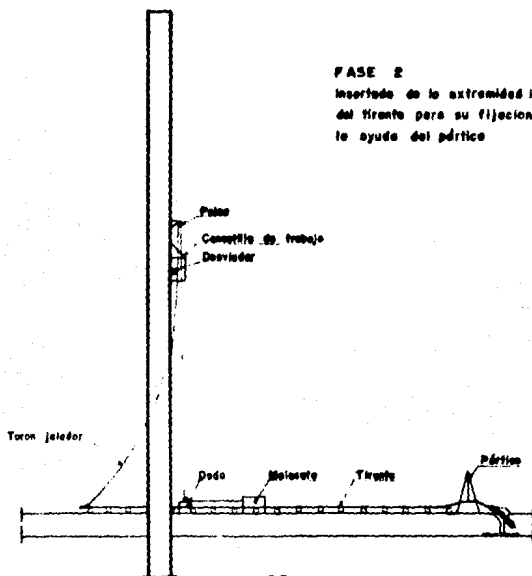
fig. III.44



**FASE I**

Tendido y acomodo del tirante sobre  
corrillos para el izado, a base de molecote  
y poleas en mástil y calzado

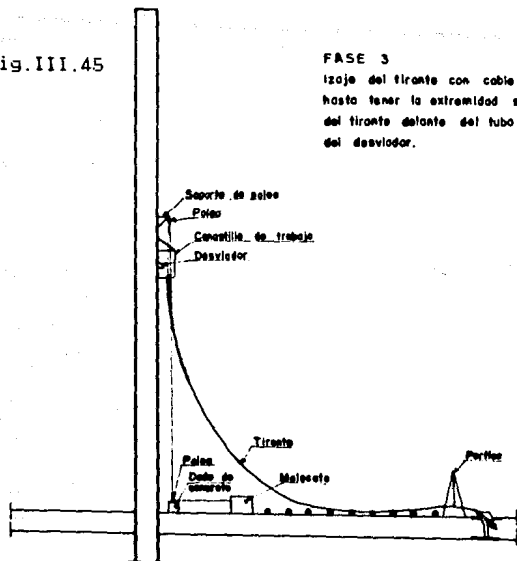
LADO RIO →



**FASE 2**

Inserción de la extremidad inferior  
del tirante para su fijación con  
la ayuda del púrtico

fig. III.45

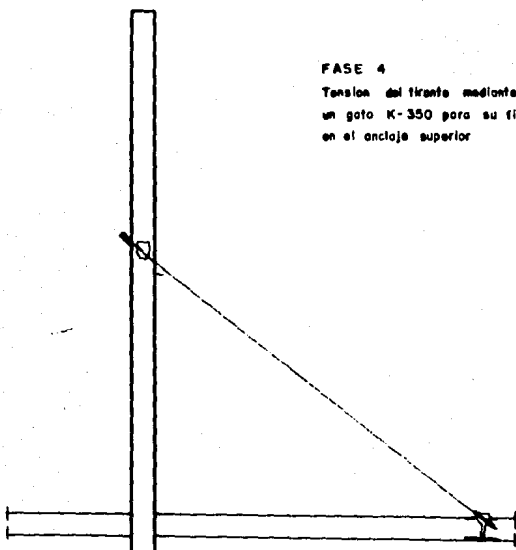


FASE 3

Izaje del tirante con cable guía hasta tener la extremidad superior del tirante delante del tubo soporte del desviador.

FASE 4

Tensiona del tirante mediante un gato K-350 para su fijación en el anclaje superior

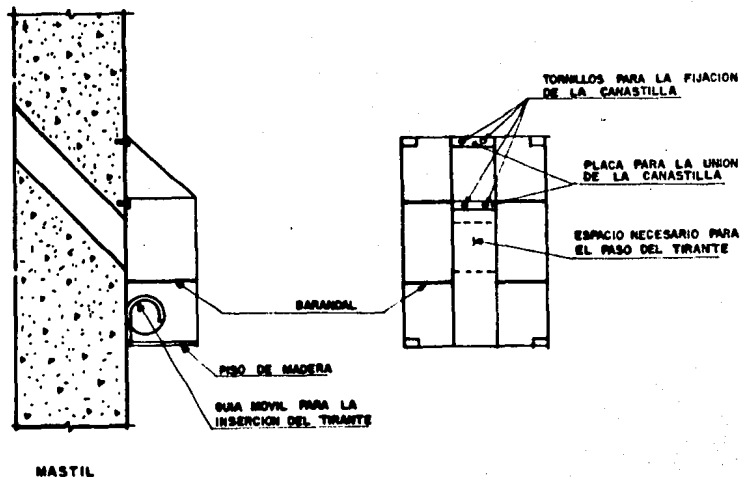


1.-Se coloca un malacate de doble tambor y de 20 tons. de capacidad en la dovela No. 3 para el izaje de tirantes.

- 2.-Instalación de muertos de anclaje a una distancia de 0.80 mts. del paño del mástil hacia afuera (tierra y agua) sobre la calzada para colocar una polea doble que nos auxiliará para darle el cambio de dirección al cable del malacate.
- 3.-Se coloca una polea del tipo doble en la elevación +120 fijada a una estructura metálica.
- 4.-Se instala un desviador fijado al mástil en la parte inferior del tirante a tensar.
- 5.-Montar una canastilla de tres niveles para maniobras en el mástil fijada con barras Dywidag, al nivel del tirante a tensar (fig.III.46).

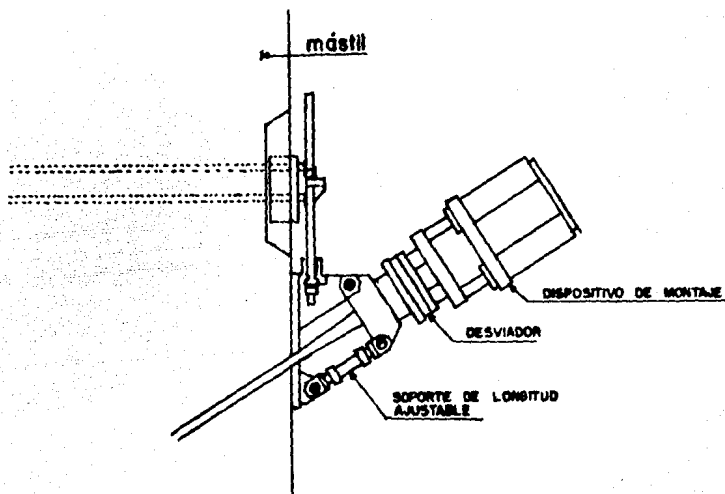
fig.III.46

**CANASTILLA PARA COLOCACION DE TIRANTE EN MASTIL**



- 6.-Se coloca un dispositivo de sujeción en la parte contraria y exterior al mástil del tirante por tensar, como soporte del gato tipo k-350 (fig.III.47) que servirá para darle el último jalón al tirante por montar.

fig.III.47



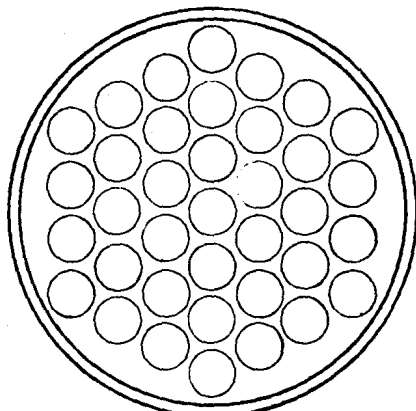
**GATO K-350 PARA TENSION  
INICIAL (60 TON)**

- 7.-Se transporta el tirante en los carritos tipo I, II y III, parcialmente inyectado colocándolo en su posición de izaje.
- 8.-Colocar collarín y obús en el extremo del anclaje muerto.
- 9.-Colocar estructura desviador inferior en zona de anclaje del tablero (pórtico).
- 10.-Colocar la contraplaca en el anclaje del tablero, silleta con la tuerca de anclaje e insertar el tirante en la



trompeta de anclaje auxiliados por el desviador inferior y una vez insertado el extremo en el tablero, colocar tuerca del anclaje vivo (fig.III.48).

fig.III.48

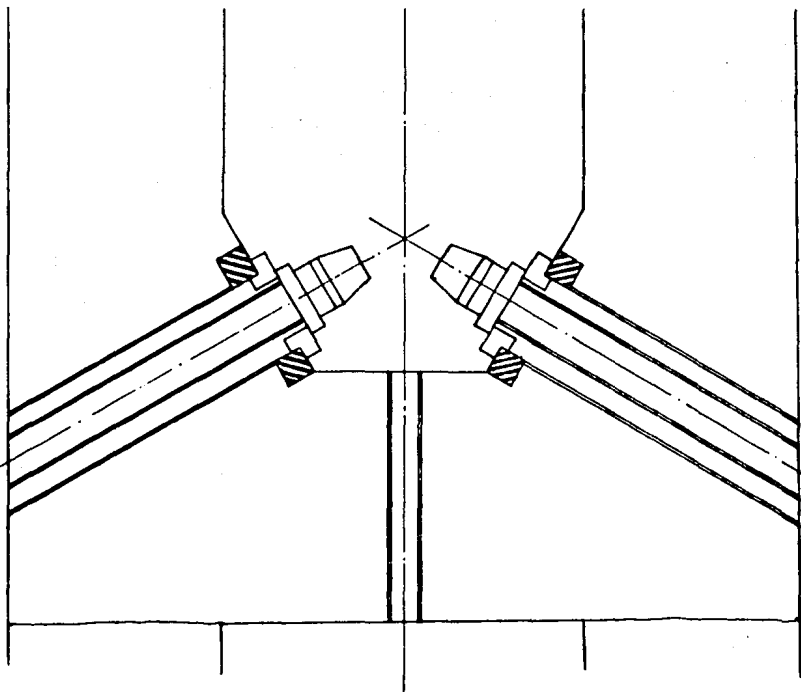


ANCLAJE 37H15

- 11.-Fijar el extremo del cable del malacate al collarín que está localizado atrás del obús del tirante.
- 12.-Colocar cable 6T-15 mm. en el obús y posicionar el gato k-350 a través de la tuerca del anclaje muerto posicionado con silleta sujeta a placa de trompeta (fig.III.49).
- 13.-Al terminar el izaje con el malacate hasta tener prácticamente el tirante con la menor catenaria posible, se realiza la transferencia de carga del malacate al gato k-350 y aproximarlos al anclaje muerto, para colocar tuerca de anclaje, retirando, posteriormente el obús de montaje, e inmediatamente dar una tensión inicial de 60 tons. como máximo.
- 14.-Es importante mencionar que primeramente se monta el

tirante lado tierra, teniendo que esperar la terminación de la soldadura al 100% de la junta transversal y el 50% de rigidizadores (según secuencia) para poder montar el tirante lado agua.

fig.III.49



CORTE LONGITUDINAL DEL ANCLAJE INTERIOR EN MASTIL

- 15.-Colocar el gato K-1000 en el mogote de anclaje.
- 16.-Una vez montado el par de tirantes, concluida la soldadura al 100% y efectuadas las reparaciones correspondientes se inicia la recuperación de catenaria, donde es necesario ir recortando la sección telescópica del tubo de polietileno.

- 17.-Tensar a la fuerza de proyecto. Esta se aplica en un número determinado de etapas según el tirante a tensar, dependiendo de la catenaria aunado a la carrera del pistón del gato siendo esta máxima de 240 mm.
- 18.-Anclar tirante y retirar el gato K-100.
- 19.-Cortar puntas y colocar capuchones.
- 20.-Soldadura de estanqueidad al nivel de zona telescópica.
- 21.-Inyectado de 2a. fase del tirante (anclaje vivo).

El tensado de tirantes se realiza por pares ; simultáneamente el de lado agua y el de lado tierra, sin importar que estén anclados independientemente cada uno en el mástil; esto se hace para controlar la verticalidad de este e ir verificando las deformaciones que se presentan.

Para llevar a cabo el anclaje muerto (fig.III.50), se hacen varios preparativos en la recámara de tensado que está instalada dentro del mástil, como son :

- a.-La colocación de trompetas de anclaje al igual que la colocación de cimbra para los concretos requieren un estricto control topográfico, tanto en nivelación como en alineamiento, con objeto de que coincidan con el eje longitudinal del Puente.

De esta forma los tirantes quedan perfectamente alineados y centrados, de tal manera que al tensar no probocamos excentricidades.

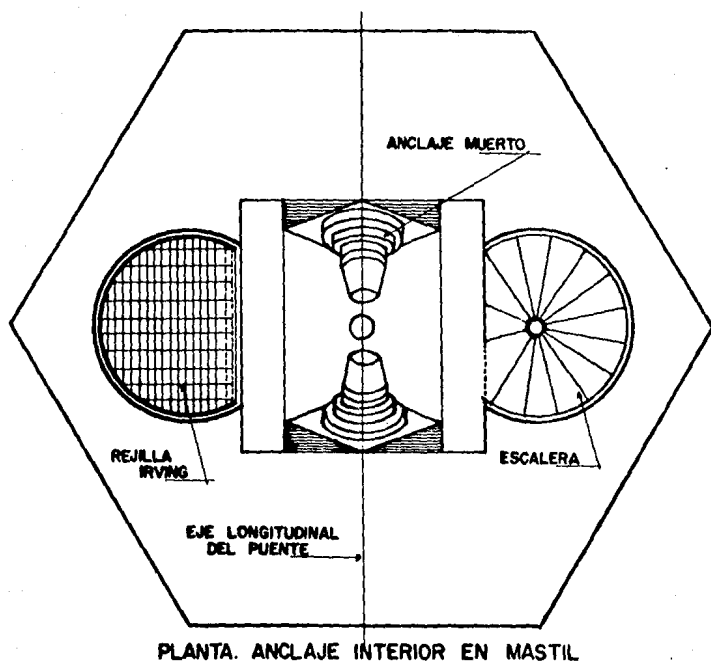
- b.-Para fijar las trompetas de anclaje se fabricaron estructuras de acero, que permiten conservar el ángulo de inclinación que lleva el tirante antes de su anclaje, ya que de no ser así producirían esfuerzos en el concreto al momento del tensado, provocando la penetración de la trompeta.

Esta estructura de fijación se eleva hasta su sitio y se coloca entre el acero de refuerzo del mástil soldadas a anclas de ángulo y canal de ciertas características para dejarla firmemente fija, de esta manera se garantiza no tener movimientos durante el colado.

- c.-Para la fijación del anclaje muerto se suelda una placa de 11 cms. de espesor por el extremo inferior de la

trompeta dentro del mástil, la cual se coloca perpendicularmente al eje del tirante, llevando perforaciones para fijar el anclaje.

fig.III.50



Para realizar el izaje de los tirantes, se dejaron una serie de preparaciones en el concreto y de esta forma se pueden recuperar los cables tensados con el gato k-350.

Otras preparaciones se hicieron para colocar barrenanclas

con objeto de sujetar las canastillas de trabajo que sirven de apoyo a los maniobristas de izaje, tensado y anclaje de los tirantes, así como permitir sellar las trompetas de anclaje y el extremo del tirante con resina ó membrana flexible con el fin de evitar filtraciones.

Cabe mencionar que a los tirantes se les dió una sobre longitud de acuerdo a su peso, como consecuencia del número de torones que lo componen.

## E.-PROCEDIMIENTO DE CORRIMIENTO DEL DISPOSITIVO DE IZAJE

Debido a la complejidad que representaba el izaje de las dovelas, obligó a diseñar un método versátil, eficiente, sencillo, seguro y de fácil desplazamiento, presentándose a continuación tres opciones :

### ALTERNATIVAS DE CORRIMIENTO

- 1.-Utilización de un sistema del tipo Grúa Derrick, a base de un mástil central articulado en su apoyo, rigidizado a base de seis cables en posición de Delta, y en su extremo superior un sistema de poleas, las cuales sostenían tres cables accionados por un malacate de la capacidad requerida. Por ser los movimientos de desplazamiento muy lentos y de alto riesgo no se decidió utilizarlo.
- 2.-Se idealizó un sistema de armaduras, formando un marco rígido sobre las cuales se instalaría un sistema de gatos y cables de acero para el izaje.

Las armaduras resultaron demasiado peraltadas, y de un peso tal que producía grandes deformaciones sobre el tablero. Para desplazar el conjunto se requería de grúas adicionales, incrementando aún más el peso en el voladizo, por lo tanto se concluyó descartar dicho procedimiento.

- 3.-Finalmente quedó aprobado el conjunto formado por 4 vigas de alma llena unidas por pares entre sí, con una celosía a base de ángulo y canal, apoyada en su parte central mediante una articulación y en la parte trasera libremente apoyada fijada a su vez con cuatro barras Dywidag, un mástil central en la parte superior de la viga con cuatro series de tirantes, dos pares tensados a cada extremo de las vigas para evitar la deformación de las mismas al momento de tomar carga, siendo este el más versátil en su manejo como se describe a continuación :

### PROCEDIMIENTO :

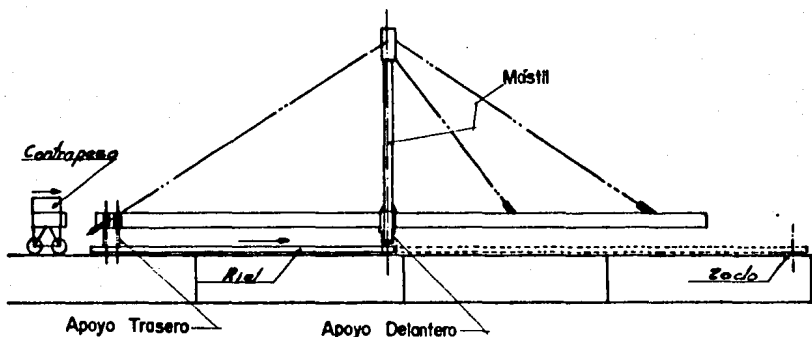
#### 1.-PREPARACIONES EN EL TABLERO

Preparación del suelo de mortero (zoclo) que quedará colocado bajo el apoyo delantero (fig.III.51).

Desplazamiento de los rieles en el tramo necesario al

corrimiento de la estructura. Alineación de los troqueles entre los mismos. Verificación del alineamiento del conjunto y fijación de las calzas al tablero del Fuelle.

fig. III.51



## 2.-PREPARACIONES EN LA ESTRUCTURA

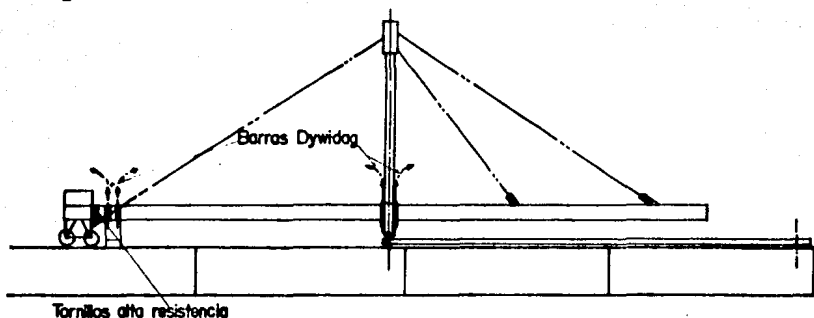
Acercamiento del contrapeso y fijación del mismo a la estructura por medio de tornillos de alta resistencia localizados en las placas de la parte trasera (fig. III.52).

Fijación del apoyo delantero a la viga mediante los cuatro tornillos que se encuentran en las articulaciones para realizar su transporte.

- 3.-Se destensan y se quitan las barras Dywidag de los apoyos delanteros y traseros.

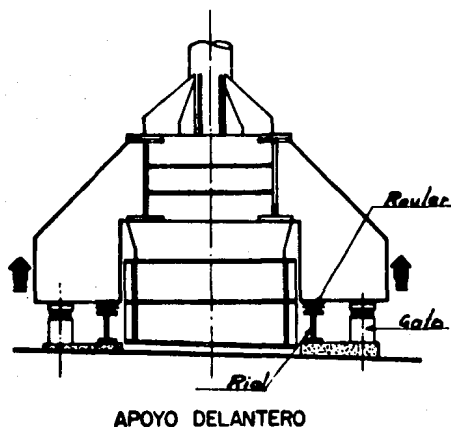
Se preparan los "ROULES" que sirven para el deslizamiento de la estructura de izaje sobre el riel. Estos son rodamientos especiales que se fijan en ambos lados tanto del apoyo trasero como delantero (ver fig. III.52), capaces de soportar un gran peso.

fig. III.52



- 4.-En el apoyo delantero se accionan simultáneamente los dos gatos de levantamiento conectados en serie hasta subir la viga a una altura suficiente para insertar y fijar los "Roules". Una vez fijados, se baja la presión de los gatos simultáneamente hasta que los "Roules" apoyen en los rieles de corrimiento, para luego retirar los gatos (fig. III.53).

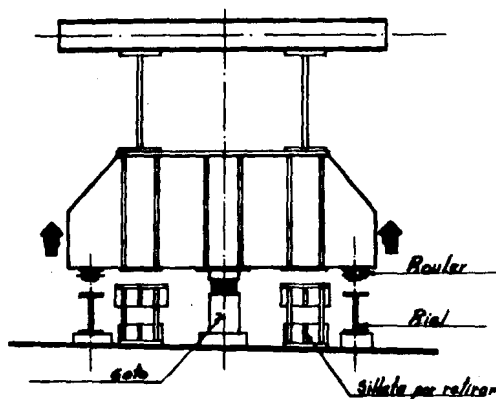
fig. III.53





- 5.-Se coloca un gato bajo el apoyo trasero para levantarlo. Se retiran las dos silletas de apoyo, se desactiva el gato hasta que los "Roules" de este apoyo descansan sobre los rieles y se retira el gato (fig. III.54).

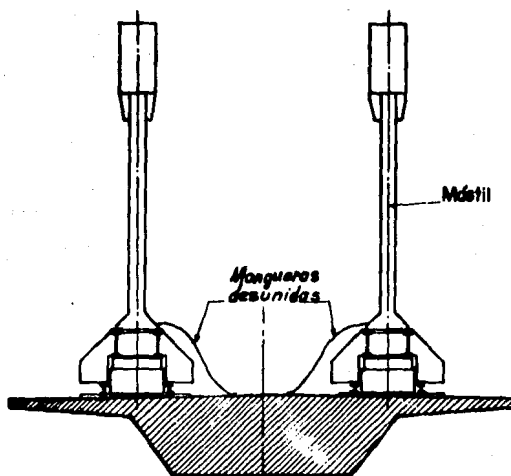
fig. III.54



**APOYO TRASERO**

- d.-Se quitan las mangueras hidráulicas de unión entre estructuras (fig. III.55).

fig. III.55

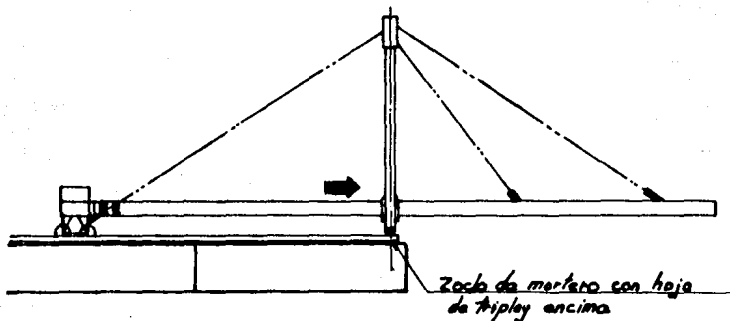


- 7.-Se comprueba que el mortero de los zoclos, sobre los que descansarán los apoyos delanteros, hayan alcanzado la resistencia especificada. Se coloca una hoja de triplay sobre ellos (fig.III.56).

Se avanza cada una de las estructuras en forma independiente hasta la posición indicada, dependiendo de la dovela a izar.

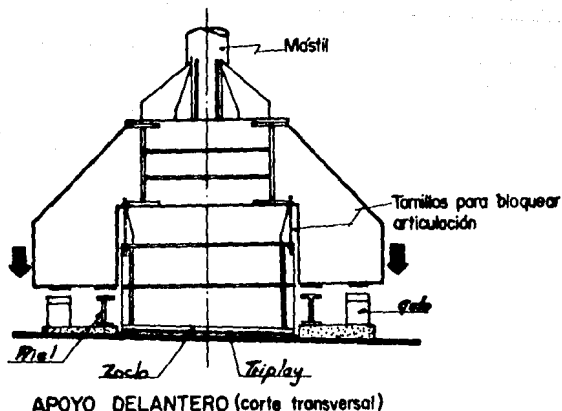
Se verifica que en esta posición se puedan insertar las barras Dywidag de retención del apoyo trasero con una holgura de 10 mm. en todo su alrededor.

fig.III.56



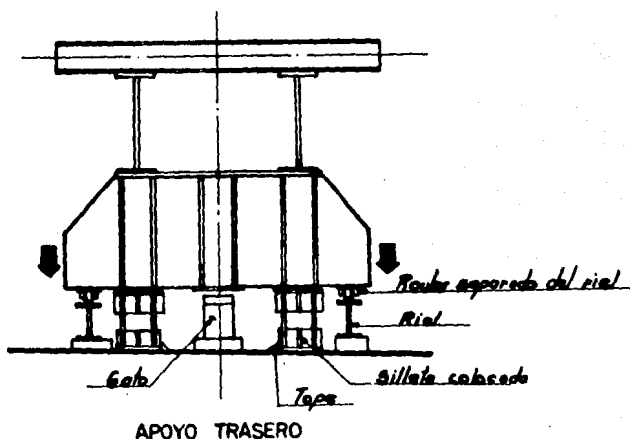
- 8.-Una vez que la viga se encuentra en posición de izaje, se accionan los gatos de apoyo delanteros y se desmontan los "Roules". A continuación se desactivan los gatos hasta poner en contacto la placa inferior del apoyo delantero sobre la hoja de triplay que se encuentra sobre el zoclo. Se liberan los cuatro tornillos que bloquean las articulaciones de los apoyos delanteros (fig.III.57).

fig. III. 57



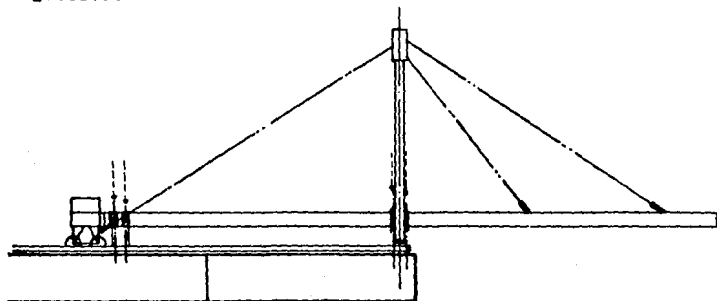
- 9.-Se coloca un gato bajo el apoyo trasero, se accionan y se colocan las silletas en su posición, se desactiva el gato quedando los "Roules" separados de los rieles. Se sueldan los topes laterales sobre el tablero del Puente para impedir el movimiento transversal del apoyo (fig. III. 58).

fig. III. 58



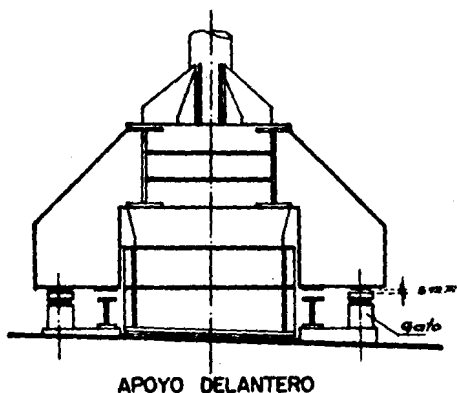
- 10.-Se insertan las barras Dywidag de los apoyos delanteros y traseros verificando la holgura de 10 mm. en cada agujero. Dándole atención particular a esta holgura en los apoyos traseros. En caso de no cumplir con esta, se agrandan los agujeros hasta tener la holgura deseada (fig.III.59).

fig.III.59



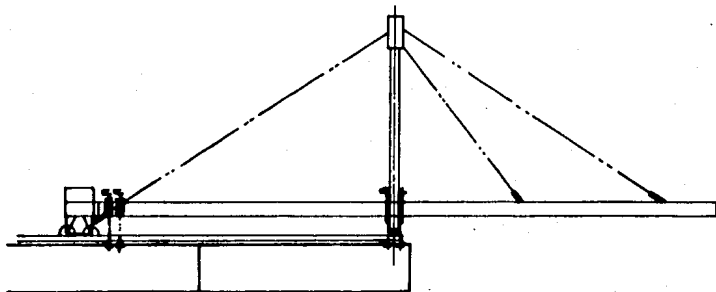
- 11.-Se colocan los gatos debajo del apoyo delantero y se accionan bajo los soportes dejando un espacio de 5 mm. entre la parte superior de la cabeza del gato y la parte inferior de la placa de soporte. Se bloquean los gatos con la fuerza de seguridad. Esta operación se puede hacer eventualmente usando calzas (fig.III.60).

fig.III.60



- 12.-Se tensan las barras Dywidag de los apoyos delanteros y traseros a una tensión de 8 tons (fig.III.61).

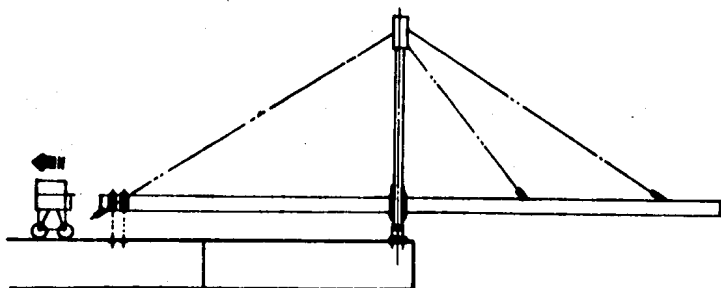
fig.III.61



- 13.-Se retiran los contrapesos, transportándolos hasta la pila 13 ó 14 cuando se trata del izaje de las dovelas A+B (fig.III.62).

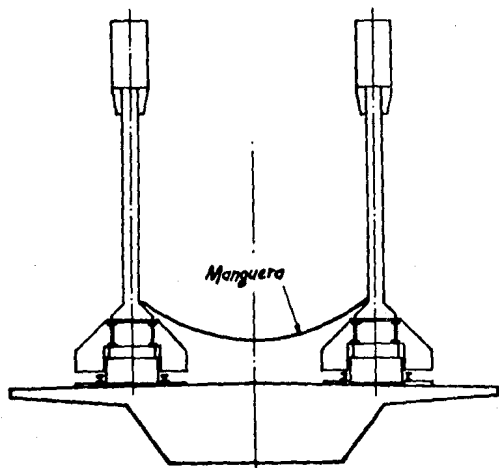
Nota - Para el izaje de otras dovelas, ver la localización de cargas durante su izaje.

fig.III.62



- 14.-La operación anterior se podrá realizar independientemente en cada estructura. Una vez que se hayan completado todas las operaciones que se indican en el punto 13 para las dos estructuras, se procede a colocar las mangueras hidráulicas (fig.III.63).

fig.III.63



- 15.-Se revisan los anclajes monotorones T15 de los extremos superiores de los tirantes de la estructura de izaje para verificar que las cuñas estén en la posición correcta (fig.III.64).

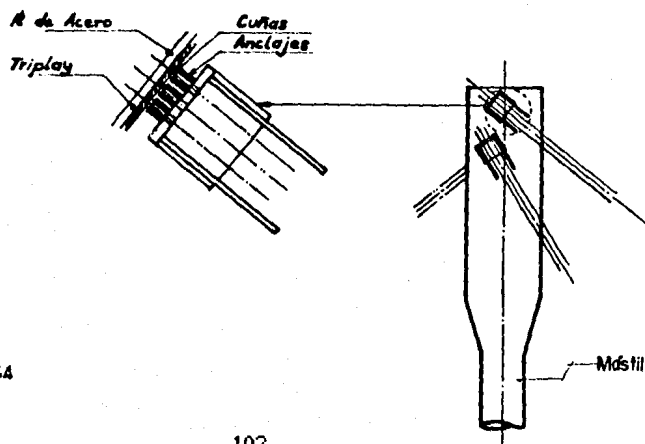
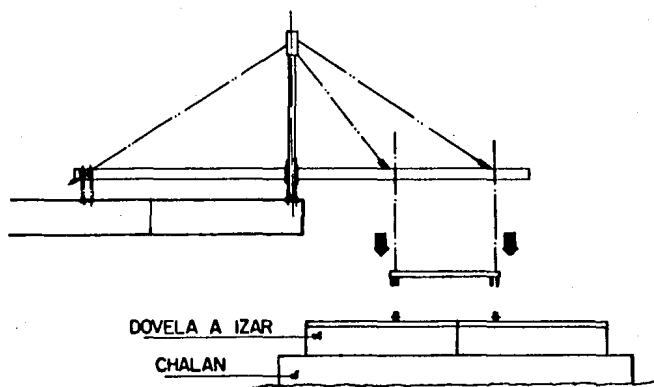


fig.III.64

16.-Se procede con las maniobras de izaje (fig.III.65).

fig.III.65



#### IV.- COMENTARIOS PERSONALES

Es para mí una gran satisfacción el haber participado en forma directa en ésta bella obra de ingeniería, en la cual desempeñé diferentes actividades durante su construcción, una de ellas fué la elaboración de los programas de ruta crítica empleados en el armado de dovelas metálicas (fig.IV.1) e izaje de las mismas (fig.IV.2).

Como hemos visto el Puente Tampico resultó de una cuidadosa ponderación de numerosos factores naturales, técnicos, económicos y estéticos. No obstante en su tiempo pasaron desapercibidos factores sumamente importantes referentes a las propiedades mecánicas del suelo, las cuales resaltaron durante el proceso constructivo de la cimentación.

En consecuencia los problemas verdaderamente importantes se presentaron en la cimentación del Puente, originados por no ser idóneos ó adecuados los estudios de campo, en particular los estudios de Mecánica de Suelos, a la magnitud de la obra.

Los estudios de campo se realizaron en el año de 1968, presentando diversos análisis de posibles alternativas de localización que se efectuaron para el Puente, adoptando la ubicación que presentaba las mejores condiciones. Apesar de ser la ubicación más favorable no pudo evitarse la construcción de cimientos de grandes profundidades.

En estos estudios sólo interezaba conocer la profundidad y la capacidad de carga del estrato resistente, encontrándose profundidades de hasta 65.00 mts. y estratos capaces de soportar hasta 230 Ton/m<sup>2</sup> (apoyo principal margen izquierda) en condiciones normales de trabajo.

Las características de la capa superior fueron : capacidades de carga muy bajas y elevada deformabilidad.

Estos fueron todos los estudios de Mecánica de Suelos realizados para la construcción del Puente.

Los estudios de consolidación y relación suelo-estructura no se realizaron. Pero no sólo esto, sino que las cohesiones fueron subestimadas.

La cohesión es un parámetro de lo más importante por que



fig. IV.1

CONCEPTOS	DIAS SEMANA	SEMANAS																						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
<b>COLOCACION DE SUBMUELLO 0</b> <b>COLOCACION DE FONDOS DE SUBMUELLO 1 y 2</b> <b>COLOCACION DE FONDOS AMPLIOS Y FUERTES SUBMUELLO 1 y 2</b> <b>PUNTO LIMITACIONAL EN LA JUNTA DE LOS TRES SUBMUELLOS</b> <b>SOLDADURA DE LOS PATINES DE LOS MARCOS 80%</b> <b>REVISION SCT</b>		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<b>SUBMUELLO 2 y 3</b> <b>COLOCACION DE SUBMUELLO 2</b> <b>CONTROL DE ALIMENTACION Y INYECCION A CASA DE 100 mm</b> <b>PUNTO DE JUNTA LIMITACIONAL DE SUBMUELLO 2 CON EL 7</b> <b>SOLDADURA DE LOS PATINES DE LOS MARCOS 80%</b> <b>REVISION SCT</b>			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<b>COLOCACION DE SUBMUELLO 3</b> <b>CONTROL DE ALIMENTACION Y INYECCION A CASA 80mm</b> <b>PUNTO DE JUNTA LIMITACIONAL DE SUBMUELLO 3 CON 9</b> <b>SOLDADURA DE LOS PATINES DE LOS MARCOS 80%</b> <b>REVISION SCT</b>				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<b>COLOCACION DE SUBMUELLO 4</b> <b>CONTROL DE ALIMENTACION Y INYECCION A CASA 100 mm</b> <b>PUNTO DE JUNTA LIMITACIONAL DE SUBMUELLO 4 CON 10</b> <b>SOLDADURA DE LOS PATINES DE LOS MARCOS 80%</b> <b>REVISION SCT</b>					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<b>COLOCACION DE SUBMUELLO 5</b> <b>CONTROL DE ALIMENTACION Y INYECCION A CASA 100 mm</b> <b>PUNTO DE JUNTA LIMITACIONAL DE SUBMUELLO 5 CON 11</b> <b>SOLDADURA DE LOS PATINES DE LOS MARCOS 80%</b> <b>REVISION SCT</b>						■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<b>COLOCACION DE SUBMUELLO 6</b> <b>CONTROL DE ALIMENTACION Y INYECCION A CASA 100 mm</b> <b>PUNTO DE JUNTA LIMITACIONAL DE SUBMUELLO 6 CON 12</b> <b>SOLDADURA DE LOS PATINES DE LOS MARCOS 80%</b> <b>REVISION SCT</b>							■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<b>SOLDADURAS</b> <b>REVISION DE LOS TORNAPUNTA DE LOS MARCOS BENEZUELA</b> <b>CONTROL DE LOS TORNAPUNTA</b> <b>CONTROL DE ALIMENTACION Y INYECCION A CASA 100 mm</b> <b>SOLDADURA DE LOS TORNAPUNTA</b> <b>SOLDADURA DE LOS PATINES DE LOS MARCOS</b> <b>REVISION DE LAS JUNTA LIMITACIONALES 1, 2 y 3</b> <b>SOLDADURA DE LAS ALAMBRAS DE LOS MARCOS</b> <b>CONTROL TORNAPUNTO COMPLETO</b> <b>CONTROL DE MONTAJE</b> <b>CONTROL DE MONTAJE DE LOS TORNAPUNTA</b> <b>CONTROL DE MONTAJE DE LOS TORNAPUNTA</b> <b>CONTROL DE ALIMENTACION Y INYECCION A CASA 100 mm</b> <b>CONTROL DE ALIMENTACION Y INYECCION A CASA 100 mm</b> <b>SOLDADURA DE LOS PATINES DE LOS TORNAPUNTA</b> <b>SOLDADURA DE LOS TORNAPUNTO DE LOS BODEGAS</b> <b>SOLDADURA DE LOS ALAMBRES DE LOS MARCOS DE LOS TORNAPUNTA</b> <b>CONTROL TORNAPUNTO COMPLETO DE BENEZUELA A CASA DE 100 mm</b> <b>COLOCACION DE 22 ESTERES</b> <b>SOLDADURA DE LOS ESTERES DE UNICACION</b> <b>COMIENZO DE BODEGAS</b>									■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
<b>SUBMUELLO 7 y 8</b> <b>COLOCACION DE SUBMUELLO 7</b> <b>CONTROL DE ALIMENTACION Y INYECCION A CASA 100 mm</b> <b>PUNTO DE JUNTA LIMITACIONAL DE SUBMUELLO 7 CON 13</b> <b>SOLDADURA DE LOS PATINES DE LOS MARCOS 80%</b> <b>REVISION SCT</b>		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<b>SUBMUELLO 8 y 9</b> <b>COLOCACION DE SUBMUELLO 8</b> <b>CONTROL DE ALIMENTACION Y INYECCION A CASA 100 mm</b> <b>PUNTO DE JUNTA LIMITACIONAL DE SUBMUELLO 8 CON 14</b> <b>SOLDADURA DE LOS PATINES DE LOS MARCOS 80%</b> <b>REVISION SCT</b>									■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<b>SUBMUELLO 3 y 4</b> <b>CONTROL DE ALIMENTACION Y INYECCION A CASA 100 mm</b> <b>PUNTO DE JUNTA LIMITACIONAL DE SUBMUELLO 3 CON 9</b> <b>SOLDADURA DE LOS PATINES DE LOS MARCOS 80%</b> <b>REVISION SCT</b>																								
<b>SUBMUELLO 4 y 5</b> <b>CONTROL DE ALIMENTACION Y INYECCION A CASA 100 mm</b> <b>PUNTO DE JUNTA LIMITACIONAL DE SUBMUELLO 4 CON 10</b> <b>SOLDADURA DE LOS PATINES DE LOS MARCOS 80%</b> <b>REVISION SCT</b>																								
<b>SUBMUELLO 1 y 2</b> <b>COLOCACION DE SUBMUELLO 1</b> <b>CONTROL DE ALIMENTACION Y INYECCION A CASA 100 mm</b> <b>PUNTO DE JUNTA LIMITACIONAL DE SUBMUELLO 1 CON 11</b> <b>SOLDADURA DE LOS PATINES DE LOS MARCOS 80%</b> <b>REVISION SCT</b>																								

C
1000
1001
1002
1003
1004
1005
1006
1007
1008
1009
1010
1011
1012
1013
1014
1015
1016
1017
1018
1019
1020
1021
1022
1023
1024
1025
1026
1027
1028
1029
1030
1031
1032
1033
1034
1035
1036
1037
1038
1039
1040
1041
1042
1043
1044
1045
1046
1047
1048
1049
1050
1051
1052
1053
1054
1055
1056
1057
1058
1059
1060
1061
1062
1063
1064
1065
1066
1067
1068
1069
1070
1071
1072
1073
1074
1075
1076
1077
1078
1079
1080
1081
1082
1083
1084
1085
1086
1087
1088
1089
1090
1091
1092
1093
1094
1095
1096
1097
1098
1099
1100



está ligada a la constante del resorte y a la deformabilidad del suelo en el sentido longitudinal (horizontalmente). Por lo tanto las deformaciones que se obtenían debido a vientos del orden de 250 km/hr, eran muy importantes pero aceptables.

En particular la subestimación de la cohesión dió como



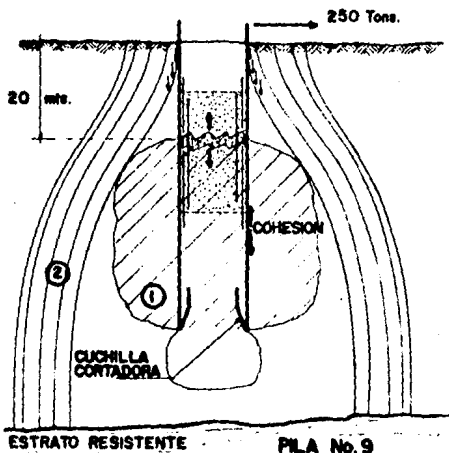
resultado en el caso de la pila No. 9 que el cilindro fallara por "TENSION" algo verdaderamente insólito, ya que jamás se había presentado una falla de este tipo.

Por tensión el cilindro de cimentación de 55 mts. se rompió aproximadamente 20 mts. abajo del terreno natural con una abertura del orden de 10 cms., rompiendo las 114 varillas que tenía el refuerzo del cilindro, esto vino a comprobar que la cohesión no estaba adecuadamente determinada.

Ahora bien, la pregunta es : Como se pudo comprobar que la cohesión fué subestimada ?

Esto se demuestra por que este tipo de fallas sólo es aplicable si a la parte de abajo se le pega una especie de esfera de arcilla, teniendo como resultado que el peso del cilindro más el peso de la arcilla (  $W_{cil} + W_{arc}$  ), que se pega en la parte de abajo incidió sobre la de arriba y la de arriba a su vez se apoyó por difusión ( apoyo en forma de campana ), ver fig.IV.3, este apoyo se presenta por que la naturaleza siempre busca trabajar lo mínimo posible cuando se le aplican esfuerzos, de tal forma elige las zonas menos perturbadas para seguir su camino.

fig. IV.3



El problema de la pila No. 9 se resolvió colocando un tapón de empalme. La sección del nuevo refuerzo que se instaló fué la adecuada para tomar las funciones que ya no podía ejercer el acero roto.

La sección del tapón instalado es totalmente maciza, en estas condiciones el fenómeno dejó de existir.

El problema genérico de todos los cilindros y a estas profundidades que son realmente excepcionales, es la inclinación que sufren, la solución aplicada para estas inclinaciones y desviaciones fué la de hincar pilotes de acero complementarios.

El caso más importante lo constituye la construcción del Cajón de cimentación de la pila No.13.

Este Cajón, aparte de estar fuera de línea y tener excentricidad, contaba con un serio problema de hincado, en otras palabras, no había manera de seguir bajándolo hasta apoyarlo sobre el estrato resistente, ocasionado en principio por la suspensión en la construcción e hincado del Cajón durante dos años, y en segundo término al desplome de 3.00 mts. que se tenía a lo largo de 50.00 mts. de profundidad a la fecha de suspensión.

El paro de actividades durante ese tiempo probocó la recuperación del terreno natural, consistente en gran parte de arcillas muy activas, lo que ocasionó un aumento excesivo de fricción que ya no fué posible vencer aún con la gran cantidad de trabajos adicionales que se hicieron para tratar de despegarlo.

A pesar de todos los esfuerzos realizados no se logró apoyar la cuchilla sobre la capa resistente quedando a escasos 5.00 mts. de esta. Para remediar tal situación se presentaron diversas alternativas para proporcionarle una adecuada cimentación a la pila.

#### **ALTERNATIVAS PROPUESTAS PARA REFORZAR LA CIMENTACION**

1. Congelar la zona cercana al desplante, con el fin de realizar la excavación en seco por la parte interior del Cajón hasta la capa resistente y colocar un dado de cimentación hasta la elevación requerida.
2. Efectuar inyecciones de lechada de cemento para formar un dado de cimentación por debajo de la cuchilla cortadora.

3. Hincar pilotes de concreto por la parte interior del Cajón, reforzando de esta manera la cimentación y colocar un cabezal de unión en su parte superior.
4. La misma idea anterior con la variante en la utilización de pilotes de acero hincados en la parte exterior del Cajón (fig.IV.4) correspondiente al corte por el eje del brocal de la fig.III.5.

Esta última alternativa fué la más factible tanto económicamente como por la experiencia en el hincado de los pilotes de acero empleados en otras pilas.

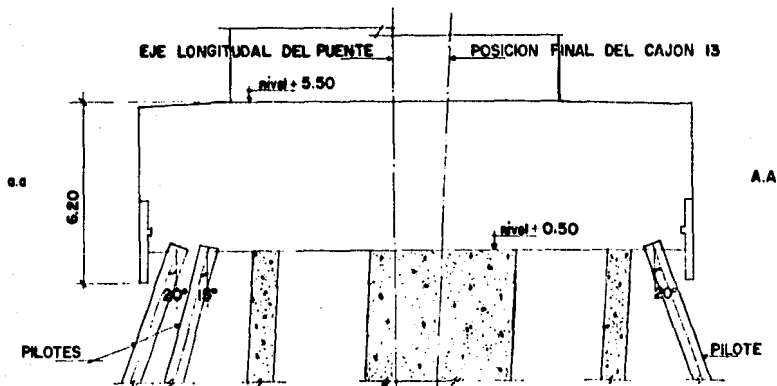
Se requirió de un gran esfuerzo y trabajo tanto de diagnóstico y dimensionamiento.

La capacidad bajo cargas verticales se comprobó, en sitio mediante lastres previamente colocados al Cajón y pruebas de hincado para los pilotes de acero.

Por otra parte se justifica el no haber considerado la aportación del Cajón para carga vertical por tener una relación Deformación-Carga diferente a la de los pilotes, ya que estos están empotrados en la capa resistente.

Para realizar la prueba de carga lateral (aplicando fuerzas horizontales hasta de 700 Ins., en su condición de máximo hincado sin tapón inferior) entre la pila No. 13 y el muerto especial, se presentó otro problema.

fig.IV.4

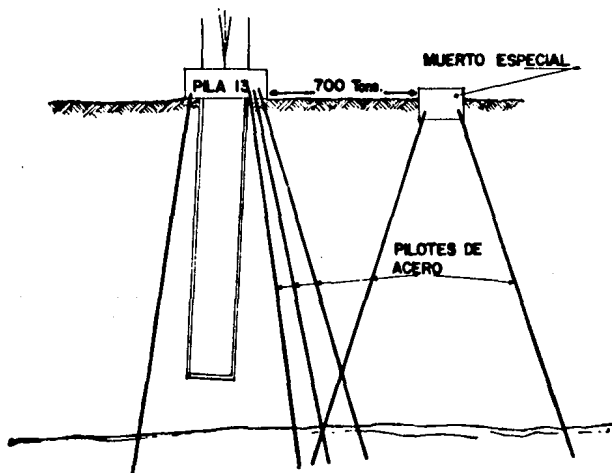




El muerto especial necesitaba contar con pilotes que se apoyaran también en la capa resistente (fig.IV.5).

Para llevar a cabo el hincado de estos pilotes fue necesario buscar como no interferir con el probable paso de estos pilotes por entre los ya hincados del cabezal, el análisis realizado en este proceso fue de lo más interesante y probabilístico.

fig.IV.5



Se comprobó también que el Cajón 13 era capaz de soportar todas las cargas laterales (700 Tons.) con deformaciones del orden de 19 mm., tomando en cuenta que las cargas laterales del tramo central son verdaderamente grandes.

En cambio el cilindro No. 12 con una profundidad casi igual (2 mts. menos), pero apoyado sobre el estrato resistente, al aplicar una carga lateral de 250 Tons. se deformó apenas 4 mm. de una deformación máxima de varios centímetros.

Por medio de las pruebas en sitio, bajo cargas horizontales que se aplicaron también a otros 4 cilindros de

gran profundidad, se dedujeron de ellas las constantes de resorte, logrando afinar las deformaciones existentes y obteniendo los esfuerzos correspondientes del terreno como del cilindro.

Otro problema fué causado por un desequilibrio térmico presentado en la pila No. 18, originado principalmente por el calor de fraguado y los rayos solares implicados con otras condiciones del sitio.

La explicación es la siguiente :

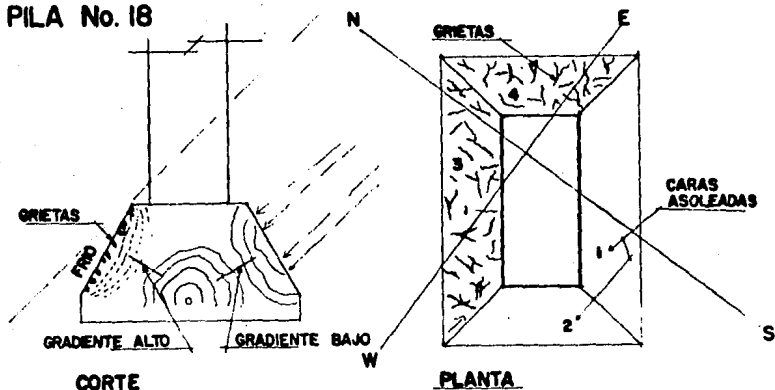
En las latitudes de Tampico el Sol siempre está del lado Sur (practicamente en el trópico de Cancer), por lo tanto, en la zapata de cimentación las caras 1 y 2 fueron las asoleadas y las caras 3 y 4 las no asoleadas (fig.IV.6).

Se observa que las caras no asoleadas tienen además el problema de tener el paramento inclinado, razón por la cual es imposible que reciban luz solar, en cambio las otras caras reciben los rayos solares casi perpendiculares.

El problema se originó por una mala decisión, desgraciadamente por tratar de hacerlo bien, emplearon una mezcla rica, esta proporciona un gran calor de fraguado aumentando la temperatura del orden de  $40^{\circ}\text{C}$ ., además el colado de la zapata se efectuó en una sola operación ocasionando que el calor quedara atrapado.

fig.IV.6

**PILA No. 18**



Por lo anterior es obvio que del lado ( caras 1 y 2 )

donde existe una fuente de calor ( Sol ) no se establece un desequilibrio tan grande ( gradiente bajo ), pero del lado ( caras 3 y 4 ) donde siempre hay sombra al contrario se enfría, por lo tanto esta zona presenta un desequilibrio muy grande ( gradiente alto ) que provoca un agrietamiento de la superficie.

Ahora bien, estos agrietamientos por la naturaleza de su origen no son necesariamente profundos ( 2-3 cms. ), cuando se verificaron se ratificó que estos no representaban en lo absoluto un problema.

Algunas veces los problemas dan al principio más preocupación de la que les corresponde, en este caso, alguien pensó colocar un nuevo forro, otras personas opinaban que se debían a los efectos del viento, pero las cargas no podían provocar nunca un efecto de este tipo ( agrietamiento ). Como dato para reforzar lo anterior no se habían presentado vientos.

## VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Dada la avanzada tecnología que requiere un país en vías de desarrollo, y de las necesidades de enlazar las vías terrestres haciéndolas continuas a través de estructuras como lo son los Puentes para hacer más productivo el desarrollo socio-económico, industrial, agropecuario y portuario, evitando pérdidas de tiempo con las interrupciones de importantes cruces como ejm : el Río Coatzacoalcos en el Edo. de Veracruz, el enlace isla aguada-Cd. del Carmen a través del Caribe y en el caso del presente trabajo el cruce en el Río Pánuco, todos éstos cruces actualmente están unidos por los principales Puentes construidos en México.

El Puente Tampico, indudablemente es una estructura que cautiva a la imaginación del hombre, en la cual se han conjugado : ingenio, materiales y procedimientos constructivos con la estética.

Es así que gracias a los materiales como : el acero estructural, el concreto, el acero de refuerzo, el concreto presforzado y los aceros de alta resistencia, ofrecen nuevas perspectivas para abordar las soluciones de claros cada vez más grandes y seguros.

Sólo me resta hacer notar que los problemas importantes que se presentaron durante la construcción, fueron originados por el desconocimiento de las propiedades del terreno, si las pruebas se hubieran hecho a conciencia la cimentación de la pila No. 13 por ejemplo, hubiese sido apoyada sobre el estrato resistente y solo quedaría resolver el problema de desplome. De tal forma los problemas y las costosas soluciones serían mínimas.

Podemos concluir que la teoría es fundamental para realizar cualquier tipo de proyecto, al implicarla obtenemos la parte cualitativa, pero cuantitativamente es necesario comprobarla.