

33
2el.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES - ACATLÁN

**"PROCESO CONSTRUCTIVO DEL PUENTE VEHICULAR EN EL
DISTRIBUIDOR VIAL ACTÓPAN - TULANCINGO"**

TESIS

Que para obtener el título de:

INGENIERO CIVIL

presenta

Marcos Edgardo Morales Soriano.

México D.F.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLAN"
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

SR. MARCOS EDGARDO MORALES SORIANO
ALUMNO DE LA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL.
PRESENTE.

De acuerdo a su solicitud presentada con fecha de 10 de Julio 1986, me complace comunicarle que esta Jefatura de Programa tuvo a bien asignarle el siguiente tema de trabajo profesional titulado "PROCESO CONSTRUCTIVO DEL PUENTE VEHICULAR EN EL DISTRIBUIDOR VIAL ACTOPAN-TULANCINGO", el cual se desarrollara como sigue:

- I. ANTECEDENTES.
 - II. CONSTRUCCION DE ZAPATAS Y MUROS.
 - III. CONSTRUCCION DEL TABLERO.
 - IV. TRABAJOS COMPLEMENTARIOS.
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.
BIBLIOGRAFIA.

Asi mismo fue designado como asesor de tesis el Ing. VICTOR PERUSQUIA MONTOYA. Ruego a usted, tomar nota en cumplimiento de lo especificado en la Ley de profesiones, debiera prestar Servicio Social durante un tiempo minimo de seis meses, como requisito basico para sustentar examen profesional, asi como de la disposicion de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares del trabajo profesional, el titulo del trabajo realizado. Esta comunicacion debere imprimirse en el interior del trabajo profesional.

ATENTAMENTE.
" POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU "
Acatlan Edo. de Mexico a 9 de Diciembre de 1986


Ing. Carlos Rosales Aguilar.
Jefe del Programa de Ingenieria Civil



ENEP-ACATLAN
JEFATURA DEL
PROGRAMA DE INGENIERIA

Dedicatorias.

A mi madre:

Silvia Adela Soriano.
Que con su amor y esfuerzo
a dado la base firme de mi vida

A mi hermana:

S. Minerva Morales Soriano.
Por ser parte esencial en mi vida,
deseando que alcance sus metas
y siempre estemos unidos.

A mi abuela y mis tíos:

Margarita Soriano Pérez.
Beatriz E. Gutiérrez Soriano.
Seattiel A. Gutiérrez Soriano.
Por brindarme siempre su cariño
y apoyo incondicional.

A mis amigos:
Por que sé, que puedo contar
con su ayuda en todo momento.

**Mi mas sincero agradecimiento a la
Universidad Nacional Autónoma de México,
y en particular a la Escuela Nacional de Estudios
Profesionales "Acatlán", por haberme dado la
oportunidad de formarme profesionalmente.**

CONTENIDO

Introducción.....	3
Capítulo 1	
Antecedentes.	
1.1 Ubicación y justificación	8
1.2 Conformación del terreno	8
1.3 Proyecto vial	10
1.4 Elección del tipo de puente	14
1.4.1 Tipos de cargas	14
1.4.2 Anteproyectos	15
1.5 Programa de obra	18
Figuras del capítulo 1	19
Capítulo 2	
Construcción de zapatas y muros.	
2.1 Desvío de tránsito	21
2.2 Trazo y excavación	23
2.2.1 Puntos de control	23
2.2.2 Excavación	24
2.3 Zapatas	26
2.3.1 Plantilla	27
2.3.2 Acero de refuerzo	28
2.3.3 Cimbra	29
2.3.4 Colado	29
2.3.5 Descimbrado y curado	30
2.4 Muros	31
2.4.1 Acero de refuerzo	32
2.4.2 Cimbra	33
2.4.3 Colado	35
2.4.4 Descimbrado y curado	38
2.4.5 Relleno	38
2.5 Apoyos para el tablero	40
2.5.1 Apoyo fijo	40
2.5.2 Apoyo libre	41
2.5.3 Placas de neopreno	42
Figuras del capítulo 2	44

Capítulo 3

Construcción del tablero.	47
3.1 Losa inferior	47
3.1.1 Cimbra	47
3.1.2 Acero de refuerzo	49
3.1.3 Colado y curado	50
3.2 Nervaduras, diafragmas y losa superior	53
3.2.1 Acero de refuerzo	53
3.2.2 Cimbra	56
3.2.3 Colado y curado	56
3.3 Presfuerzo	58
3.3.1 Colocación de cables	58
3.3.2 Tensado de cables	59
3.4 Relleno en ductos	62
3.4.1 Materiales	63
3.4.2 Equipo	64
3.4.3 Procedimiento	64
3.5 Banquetas y ménsulas	67
3.6 Parapeto metálico	69
Figuras del capítulo 3	71

Capítulo 4

Trabajos complementarios.	
4.1 Losas de transición	73
4.1.1 Juntas para losas	73
4.1.2 Construcción	74
4.2 Juntas de calzada	76
4.3 Drenaje	78
4.4 Pavimento	81
4.5 Muros de mampostería, guarniciones y banquetas	87
4.6 Señalización	92
Figuras del capítulo 4	94

Conclusiones y recomendaciones	95
---------------------------------------	-----------

Bibliografía consultada	97
--------------------------------	-----------

Anexo 1	99
----------------	-----------

Anexo 2	100
----------------	------------

Introducción

Desde la época anterior a Hernán Cortés y durante la colonia, Pachuca de Soto, capital del estado de Hidalgo fue considerada como uno de los principales centros mineros del país, ya que fueron las riquezas minerales el principal recurso explotado, además de Pachuca existen otros importantes centros mineros de donde todavía se extraen minerales que son utilizados tanto a nivel nacional como internacional

Ahora en Hidalgo, además de la minería se han desarrollado otras actividades económicas, lo cual ha generado diversos empleos pero también un acelerado crecimiento de la población y un proceso de concentración de sus municipios. Actualmente la zona más poblada del estado se sitúa en la mitad sur, donde se encuentra la capital Pachuca y los núcleos de población más importantes.

Uno de los sectores productivos que más ha participado en este desarrollo ha sido el sector industrial, con la creación de plantas metalúrgicas y fábricas de cemento industrial, textiles, vagones de tren y automóviles, etc. También se ha desarrollado la ganadería y la agricultura dada la proximidad a la Ciudad de México y el área metropolitana.

Como todos sabemos, las obras de ingeniería civil son básicas en el desarrollo de las sociedades, dicho crecimiento compromete a los ingenieros civiles encargados de la tarea de producir estas obras, a proyectarlas y a construir las de tal manera que satisfagan los intereses de los grandes grupos humanos existentes, además de ejecutar esta labor con un amplio criterio de tecnología moderna cumpliendo con los principios básicos de una buena obra de urbanización, como es de ser práctica, moderna, económica y funcional.

Ahora bien, cuando consideramos que se deben satisfacer las grandes y variadas necesidades que demanda la creciente población y tomando en cuenta lo importante que es transportarse de un lugar a otro, sabemos lo indispensables que son los caminos como vías de comunicación terrestre, destacando en forma predominante en el desarrollo de

una ciudad, para ello, y conociendo de antemano que un cruce entre dos o mas arterias viales ocasiona conglomeraciones críticas que producen lentitud en la circulación vehicular, es imperante la creación de estructuras viales que permitan un transito continuo y seguro.

El presente trabajo expone una solución práctica de como librar por medio de un puente una de las tantas intersecciones que existen en todo el territorio nacional, logrando así un flujo mas eficiente y dinámico de vehiculos

Los puentes son estructuras que permiten franquear un obstáculo natural o artificial de manera rapida, cómoda y segura, son grandes obras de ingeniería que siendo de madera, mamposteria, acero, concreto, mixtos, etc y teniendo un principio o sistema de trabajo como puede ser presforzado, atirantado, colgante, etc. se proyectan para salvar desde pequeños hasta grandes claros de luz

Por cuanto antecede se comprende que la construcción de puentes y pasos elevados para carreteras y vías urbanas sea un tema digno de estudio, que forja de alguna manera la grandiosidad del ingenio humano para proyectar estas estructuras que dia con dia son de exigencias complejas mas modernas, siendo consideradas siempre con admiración como auténticos resultados de las fuerzas del ingenio y de la creación

Permitir poner un puente en pie, desde el anteproyecto somero hasta la recepción de la obra, es la mas bella de las artes del ingeniero civil para superar los numerosos obstáculos tanto en tiempos antiguos como en los modernos

Este trabajo da a conocer el procedimiento utilizado en cada una de las operaciones de construcción del puente vehicular "Actópan - Tulancingo" y sus obras complementarias, además de dar una visión de los estudios preliminares realizados para llevar a cabo este proyecto

CAPITULO 1

ANTECEDENTES

1.1 Ubicación y justificación.

El aumento de tránsito vehicular registrado en los últimos años en la carretera Pachuca - Actópan, así como en el libramiento Actópan - Tulancingo, propició la insuficiencia del cuerpo existente y el deterioro del pavimento de dichas vialidades.

Por esta razón el gobierno del estado a través de la Secretaría de Desarrollo Urbano, Comunicaciones y Obras Públicas, proyectó la modernización de dicho libramiento el cual inicia en la carretera Pachuca - Actópan dirigiéndose hacia el distribuidor vial "Miguel Hidalgo", finalizando en "El trébol" donde encausa el tránsito con direcciones a Pachuca, Tulancingo y Cd. Sahagún. Dicha modernización consiste en la ampliación del cuerpo existente que conserva tránsito en dos sentidos, transformándolo en boulevard de dos cuerpos paralelos con dos carriles de circulación cada uno y un camellón central.

Por otro lado la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, proyectó ampliar a cuatro carriles el cuerpo existente de la carretera Pachuca - Actópan con sus respectivos acotamientos.

Ambos proyectos tenían como objetivo principal proporcionar comodidad y fluidez al tránsito vehicular, es por esto que se requería diseñar un nuevo entronque de la carretera con el libramiento que permitiera cumplir en su totalidad el objetivo trazado.

Se sabe que cuando una carretera cruza a otra al mismo nivel, algunos o todos los vehículos deben reducir su velocidad o detenerse para permitir el paso del tránsito cruzado y que vira, existen muchos puntos de peligro con las consecuentes oportunidades de que ocurran accidentes. Una estructura de separación de nivel elimina estas dificultades, la capacidad se eleva a las de las vías de tránsito y los vehículos pueden viajar a velocidad uniforme, reduciendo sus tiempos de viaje como sus costos de operación, la oportunidad de accidentes queda eliminada casi por completo.

La solución de dicho entronque fue la de llevar a cabo el diseño y construcción de un puente vehicular que, colocado estratégicamente dentro de un distribuidor vial contribuyera a darle continuidad al tránsito en dicho entronque carretero.

El distribuidor vial se encuentra al sur - oeste de la ciudad de Pachuca, en el Km 4+750 de la carretera Pachuca - Actópan.

1.2 Conformación del terreno.

Para definir la estratigrafía y las propiedades tanto físicas como mecánicas que caracterizan el subsuelo de la región, se llevó a cabo una exploración por medio de un sondeo mixto hasta 15 mts de profundidad y pozos a cielo abierto de 2 a 3 mts de profundidad, de los cuales se obtuvieron tanto muestras alteradas como inalteradas procurando que el muestreo fuera lo más representativo de los estratos existentes

Los materiales extraídos durante la exploración, se sometieron a una clasificación macroscópica, es decir a una clasificación visual y al tacto, tomando en cuenta la textura, color, olor, resistencia en estado seco y movilidad del agua por agitado, anotando sus características en un registro para una posterior identificación

En el laboratorio de mecánica de suelos se realizaron las pruebas y ensayos a las muestras obtenidas en el sondeo y se determinaron fácilmente las tres fases constituyentes del suelo traduciéndolas en pesos específicos, para lo cual, primeramente se procedió a efectuar una clasificación

Obtenidos los valores de las pruebas, se calcularon las siguientes relaciones volumétricas y gravimétricas que son de gran importancia para el manejo comprensible de las propiedades mecánicas del suelo. A continuación se describen brevemente estas relaciones

- 1 Relación de vacíos. Es la relación entre el volumen de vacíos y los sólidos de un suelo
- 2 Porosidad. Ese la relación entre el volumen de vacíos y el volumen de la masa y se expresa en porcentaje
- 3 Grado de saturación. Es la relación entre el volumen de agua y el de los vacíos del suelo, también suele expresarse en porcentaje.
- 4 Contenido de humedad. Es la relación entre el peso de la fase líquida y la sólida expresada en porcentaje.

Además se realizaron las siguientes pruebas

- **Análisis granulométrico** Este análisis se utiliza para conocer los diferentes tamaños de las partículas que conforman el suelo. Para la separación de sus diferentes fracciones se realizó un cribado mecánico por mallas. Con este método se obtuvieron los porcentajes correspondientes a los tamaños del suelo hasta la malla No. 200, este método suele requerir agua como lubricante para ayudar al paso de las diferentes partículas por las mallas No. 100 y No. 200, (procedimiento de lavado), ya que este se dificulta por ser tan pequeñas las aberturas. Para los tamaños menores se utilizó el hidrometro (densímetro), el cual se basa en el hecho de que la velocidad de sedimentación de las partículas en un líquido está en función de su tamaño.
- **Límites de consistencia** Este ensaye se realizó en la fracción de tamaño menor que la malla No. 40 con el objeto de precisar el contenido de agua que marca el límite entre los diferentes estados de plasticidad del suelo. El ensaye se llevó a cabo en forma selectiva, considerando la homogeneidad del material y los límites determinados fueron el líquido y el plástico, ambos utilizando el método y dispositivo estandarizado por A. Casagrande, con el resultado de ambos límites determinó el índice plástico.

La clasificación se realizó de acuerdo con el criterio establecido por el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S U C S). Utilizando las relaciones volumétricas y gravimétricas además de los resultados de las pruebas de resistencia permite prever en forma cualitativa y cuantitativa el comportamiento mecánico del suelo, ya que su deformación, aun bajo cargas muy pequeñas, es mucho mayor que la de los materiales estructurales como el acero y el concreto, además esa deformación no se produce usualmente en forma simultánea ante la aplicación de la carga, sino que se desarrolla en el transcurso del tiempo.

La zona de estudio presenta una ligera pendiente provocada principalmente por una elevación natural ubicada al oeste del entronque. La geología natural del suelo está formada por una delgada cubierta de material arcillo limoso contaminado con materia orgánica, continuando por debajo de esta el mismo material arcillo limoso consolidado. La figura 1.2.1 muestra el perfil estratigráfico de la zona en estudio.

1.3 Proyecto vial.

En una red de carreteras, el conocimiento del flujo vehicular permite conocer el grado de ocupación y las condiciones en que cada segmento opera, el análisis de su evolución histórica permite definir las tendencias de crecimiento y el momento a partir del cual ciertos segmentos dejarán de prestar un servicio adecuado convirtiéndose para el transporte en un cuello de botella que estorbe el desarrollo de un lugar, en vez de servirlo propiciándolo.

Una minuciosa exploración del tránsito da como resultado una adecuada operación y desarrollo de la red y en lo que a infraestructura respecta, permite definir sus características geométricas y estructurales. El proyecto y la modernización de una carretera requiere determinar la clasificación de los vehículos, el volumen de estos y la tendencia a su aumento conforme pasa el tiempo.

En el mercado existe una gran variedad de vehículos que se pueden agrupar para nuestros fines en ligeros, son aquellos que tienen dos ejes y cuatro o seis ruedas, se destinan al transporte de carga y pasaje, se clasifican en vehículos compactos, camionetas Pick Up y autobuses, pesados, tienen dos o más ejes y seis o más ruedas, están destinados principalmente al transporte de carga, se clasifican en camiones y tractores con remolques o semiremolques de diferentes pesos.

Para un mejor control tanto en las dimensiones como en el peso de los vehículos que circulan por las carreteras, la SCT realizó una clasificación designando a los automóviles con la letra A, autobuses con la letra B, camiones con la letra C, tractores con la letra T, semiremolques con la S y remolques con la R.

Para conocer el volumen de tránsito, es decir, la cantidad de vehículos que pasan por un tramo de carretera en un determinado tiempo (hora o día), puede llevarse a cabo una estimación de los vehículos que circulan o circularán mediante alguno de los siguientes métodos:

- **Cuento de vehiculos** El cuento puede efectuarse mediante contadores manuales o electromecánicos, registrando el volumen vehicular por horas, separando la cantidad de vehiculos ligeros (A), autobuses (B) y vehiculos pesados (C)
- **Estudios de origen y destino** Este procedimiento consiste en entrevistar a cada conductor que transite por la zona de estudio, preguntándole de donde viene y hacia donde se dirige, anotando el tipo de vehiculo en que circula
- **Porcentaje** En algunos casos unicamente se estima un porcentaje de vehiculos tipo A, B y C, para lo cual será necesario conocer el tipo de camino que se esta analizando ya que este puede ser agricola, industrial o turistico

El porcentaje que nos permite conocer el transito en un futuro, llamado tasa de crecimiento se apoya en metodos estadísticos extrapolando la tendencia media ajustada a una curva de regresión histórica del crecimiento del volumen del transito

En base a los aforos efectuados para este proyecto se determinó, que el libramiento Actopan - Tulancingo tiene un crecimiento anual vehicular de 5% y un transito diario promedio anual de 16328 vehiculos, con la composición vehicular que se muestra en la tabla 1

De lo anterior tambien se determinó que dos carriles en cada direccion incluyendo el puente serian los adecuados para proporcionar un transito cómodo y seguro

Despues de haber considerado factores tales como la importancia del camino, la cantidad y tipo del transito estimado, el tipo de terreno y los fondos disponibles, se procedió a determinar la velocidad de diseño, la cual provee las bases para la fijación de las normas minimas para el alineamiento horizontal y vertical del distribuidor via!

Es desalentador saber que en muchos casos el trazo y la alineación de caminos se ha regido por el sitio en donde es mas económico construir el puente. Algunas veces hasta se ha sacrificado la alineación favorable para proporcionar un cruce barato en ángulo recto. Actualmente la norma general es determinar el trazado apropiado de la carretera y exigir al ingeniero de puentes que suministre las estructuras para el mismo.

Esto por supuesto, origina un cruce costoso, debido a que los puentes oblicuos cuestan mas que los puentes rectos, también la construcción y proyecto de puentes con rasante inclinada o curva crea serios problemas. Sin embargo el resultado final es una mejor vialidad.

Para poder proyectar adecuadamente el distribuidor vial, se requirió de un levantamiento topográfico que diera a conocer los niveles del terreno en la zona de estudio, así como la ubicación del trazo existente de dicho entronque y posibles interferencias.

Con la colocación de señales permanentes también conocidas como bancos de nivel se dejaron varios puntos de control sobre el terreno, evitando de esta forma la pérdida o alteración de la información topográfica.

Cumpliendo con las especificaciones técnicas de la SCT, el entronque existente fue modificado dando origen al distribuidor vial, el cual se diseñó básicamente con rectas unidas por curvas circulares, como se muestra en la figura 1.3.1 y a continuación se describe.

El eje de la carretera se dividió en dos, creando el eje A con dirección a Actopan y el eje B con dirección a Pachuca, también el libramiento tuvo que ser dividido en dos ejes, el C que correría del eje B hacia Tulancingo y el D que cruzaría al eje B finalizando al intersectar al eje A, además se crearía un eje E como salida del libramiento hacia Pachuca y por último un eje F como retorno del eje A con dirección a Pachuca y Tulancingo.

Ahora bien, de aquí en adelante hablaremos principalmente de los ejes B y D cuya intersección da origen al paso elevado.

Requisitos de viabilidad que debe cumplir el puente.

- Claro de luz 30 00 m.
- Ancho de calzada 7 50 m (2 carriles)
- Ancho de banqueta 1 50 m
- Ancho total 10 50 m (incluyendo dos banquetas).
- Esviajamiento $48^{\circ} 42' 55''$.
- Gálivo vertical 5 20 m.

1.4 Elección del tipo de puente.

Una vez conocida la ubicación exacta del puente dentro del distribuidor vial, así como las características del suelo de cimentación y el claro de luz a salvar, se dio inicio a estructurarlo.

La estructuración consiste en acomodar de una forma segura y combinar en base a los materiales propuestos los elementos que posteriormente serán diseñados para resistir las cargas actuantes.

Un análisis estructural mostraría la eficiencia de la estructuración al calcular los elementos mecánicos ante la aplicación de ciertas cargas.

1.4.1 Tipos de cargas.

Las principales cargas que se tomaron para el análisis estructural del tablero, fueron las permanentes, las vivas y las accidentales.

Las acciones permanentes conocidas como carga muerta, representan el peso de todos los elementos estructurales o no que graviten sobre el puente, como pueden ser vigas, losas, carpeta asfáltica, parapeto, postes de alumbrado, etc, el valor de estas cargas queda determinado por el volumen y el peso volumétrico de los materiales de dichos elementos.

Las cargas vivas provocadas por el paso de los vehículos se especifican en los códigos o reglamentos para el diseño de puentes, en nuestro país se utilizan las normas SCT debido a que las normas AASHTO (American Association of State Highway and Transportation), establecen como carga viva al camión tipo HS20 de 34 ton de peso, en cambio la SCT prevé la aparición de camiones y trailers super pesados, vehículos como el T3-S2-R4 se toman en cuenta para el diseño de puentes amplios normalmente carreteros. A partir de 1989 la SCT estableció diseñar para el vehículo que provocará las condiciones más críticas sobre el puente.

La carga viva de diseño especificada como un tren de cargas por la SCT para este tipo de puente es la de un camión T3-S2-R4 con un peso total de 77 5 toneladas y una longitud aproximada de 22 mts

Además de la carga viva se tomaron en cuenta los efectos vibratorios, dinámicos y de impacto por tratarse de cargas en movimiento

Las opciones para estructurar un puente, son alternativas que pueden analizarse para elegir la óptima que también dependerá de otras condiciones como son el material y la mano de obra disponible en la zona, costo, apariencia, integración urbana, etc

Habría de tomarse en cuenta que no siempre el puente más económico será el que se elija, debido a que probablemente requerirá mucho mantenimiento, ya que en este aspecto los puentes son estructuras diferentes a la de los edificios convencionales que no requieren mantenimiento, en cambio la estructura de los puentes se deberá revisar en forma periódica por estar en contacto directo con el medio ambiente

1.4.2 Anteproyectos.

Para seleccionar la estructura definitiva, fue necesario realizar algunos anteproyectos con diferentes materiales y procesos constructivos, comparando de esta manera sus ventajas y desventajas

Anteproyecto con un tablero de concreto reforzado.

Como es de saberse, el concreto reforzado se emplea frecuentemente en la construcción de elementos estructurales tales como zapatas, muros, vigas, etc., todos ellos diseñados para resistir cargas e intemperismo

Ahora bien, realizando el anteproyecto del puente empleando vigas de concreto reforzado como elemento principal del tablero se obtuvo que en primer lugar para salvar el claro, las vigas requerían un peralte mínimo de 180 cm, lo cual rebasaba los límites previstos en cuanto a los niveles de rasante de la vialidad, mano de obra y materiales, en

segundo lugar el peso que se obtenía del tablero aunado a las cargas de los vehículos por circular y las demás cargas, se obtenía una estructura de peso bastante considerable. Estos inconvenientes llevaron a tomar otro tipo de solución y confirmaron que los tableros a base de concreto reforzado dejan de ser eficientes para salvar claros de esta magnitud

Anteproyecto de un tablero prefabricado.

La mayoría de las estructuras prefabricadas utilizan elementos de concreto presforzados. El concreto presforzado consta de los mismos materiales que el reforzado (concreto y acero), pero existe una primordial diferencia, para el primero se emplean materiales de mayor resistencia y calidad, ya que en estos elementos se producen fuerzas artificiales con el propósito de conseguir que la sección entera de cualquier elemento trabaje a compresión, eliminando las fuerzas de tensión en el concreto y por tanto los agrietamientos, debido a lo anterior estos elementos normalmente se fabrican en un lugar distinto al de su posición definitiva dentro de la estructura, a este procedimiento se le conoce con el nombre de prefabricación, se economiza tanto en la obra falsa como en el transporte del concreto fresco y se pueden realizar simultáneamente varias etapas de construcción. Por otra parte este procedimiento presenta el inconveniente del elevado costo del transporte y montaje de los elementos prefabricados además del problema de desarrollar conexiones efectivas entre estos

Anteproyecto de un tablero colado "in situ" y postensado.

Este anteproyecto se basó en una combinación de tecnologías, ya que por un lado se utiliza la mano de obra y el proceso constructivo de un tablero de concreto reforzado, y por el otro, utiliza los materiales y principios básicos del concreto presforzado, consiguiendo de esta manera un tablero monolítico de sección presforzada

Para llevar a cabo un completo análisis estructural se utilizó el programa M-STRUDL (versión 2.51), el cual proporcionó los elementos mecánicos y los desplazamientos necesarios para el diseño de los elementos. Este programa resultó de gran utilidad, particularmente porque ciertos efectos de esviamiento solo pudieron visualizarse por medio de este análisis, por lo que el modelo proporcionó datos de orden cualitativo para entender el comportamiento del tablero bajo ciertas condiciones de carga.

Durante el diseño de los elementos fue indispensable conocer las características de los materiales a utilizar. En nuestro caso los elementos del tablero se diseñaron empleando concreto con una resistencia a la compresión $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$, con un módulo de elasticidad $E_c = 187000 \text{ kg/cm}^2$, un acero de presfuerzo grado 270K, es decir que tiene una resistencia última de 27000 lb/pulg^2 que equivale a 18600 kg/cm^2 y un módulo de elasticidad $E = 1900000 \text{ kg/cm}^2$ combinado con un acero con un esfuerzo de fluencia $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$.

El análisis de esta estructura mostró que al emplear este método se mejoraba el peralte obtenido con los demás anteproyectos, esto debido a que el monolitismo conseguido propiciaba una mejor distribución de esfuerzos en todos los elementos lográndose salvar el claro de 30 mts. con un peralte de 120 cm. sin sacrificar su estabilidad.

Además de diseñar el tablero, se diseñaron sus apoyos, los cuales consistirían en dos muros de concreto reforzado y una cimentación superficial a base de zapatas corridas como se muestra en las figuras 1.4.1 y 1.4.2.

Todo esto aunado a la generación de empleos que traería la construcción de este tipo de estructura, a las ventajas en cuanto al trazo de la vialidad y, al relativamente bajo costo de los cables de presfuerzo comparado con el de la estructura en su totalidad y con los anteproyectos presentados, concluimos que el proyecto resultaba económico y poseía las cualidades estéticas y vanguardistas que van de acuerdo con los avances de la ciudad de Pachuca.

1.5 Programa de obra.

Planear una obra es un requisito indispensable que se debe cumplir antes de comenzar con la construcción, ya que constituye el proceso y el orden en que debe efectuarse

Es esencial dividir el proyecto en varias etapas de construcción, las cuales pueden realizarse independientemente o en conjunto, para ello deben de conocerse las cantidades de trabajo y la duración de cada una

Para facilitar la planeación de una obra debe dividirse en operaciones de construcción, es decir, en porciones de obra que pueden llevarse a cabo con una clasificación de obreros o tal vez con un solo tipo de maquinaria, determinando así la cantidad de trabajo y el tiempo total que requerirá cada operación

Con esos datos es posible estimar las fechas de inicio y término de cada operación y en consecuencia de la obra completa, la duración de cada operación o actividad puede mostrarse en una gráfica de barras conocida como programa de obra, en el cual se anota la cantidad, la unidad y la fecha de inicio y término de cada una de las actividades, como se indica en la figura 1 5 1

FIGURAS.
(Capítulo 1)











Prof. (m)	Perfil estrat.	Descripción	SUCS
0.00 a 0.60		Relleno limo arenoso con gravilla	
0.60 a 2.10		Relleno arcillo arenoso con gravilla color gris y café claro de baja plasticidad y consistencia media.	CL
2.10 a 4.60		Arena arcillosa con arena color gris y café claro de compacidad media	CL
4.60 a 9.00		Arcilla arenosa o tova con lentes de arena color café oscuro de baja plasticidad y consistencia variable de media a dura	CL
9.00 a 9.30		Arena gruesa con grava limosa	C
9.30 a 10.00		Arena gruesa con grava y arcilla	CL
10.00 a 12.00		Arcilla arenosa con lentes de gravilla de color café claro de baja plasticidad y consistencia variable de media a muy firme	CL
12.00 a 13.20		Arcilla poco arenosa de color café claro de alta plasticidad y consistencia media.	CH
13.20 a 13.80		Arena gruesa arcillosa con gravas y arcilla arenosa.	CH
13.80 a 15.00		Arcilla poco arenosa.	CH

Figura 1.2.1. Sondeo mixto SM-1

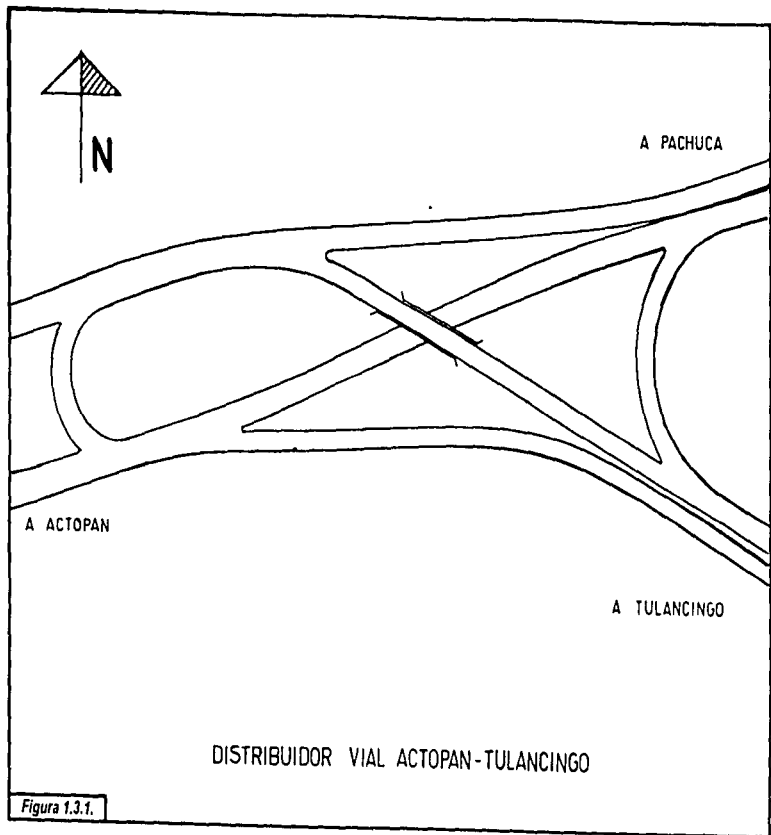


Figura 1.3.1.

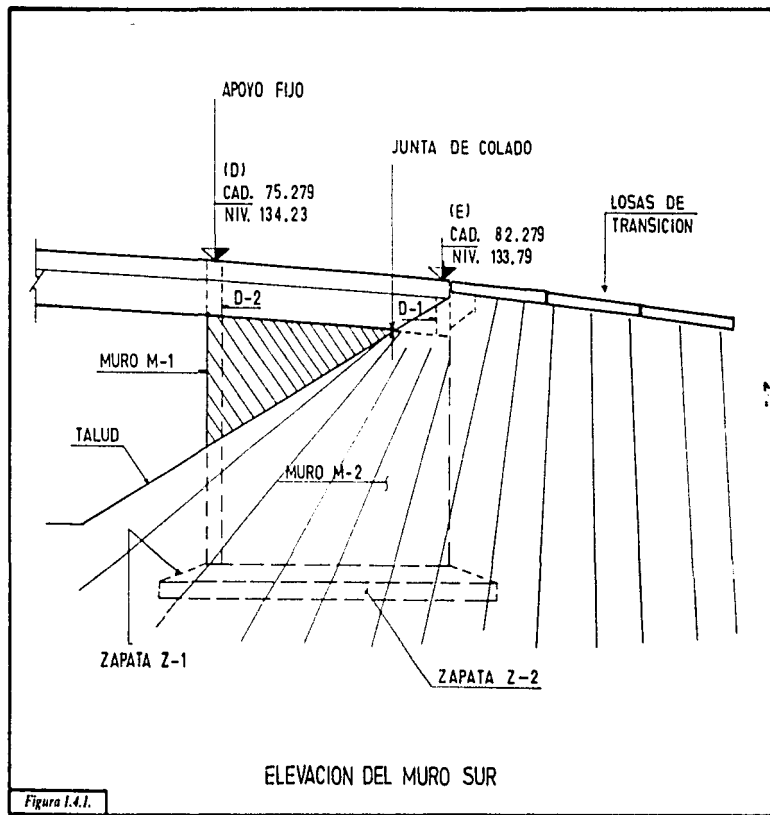
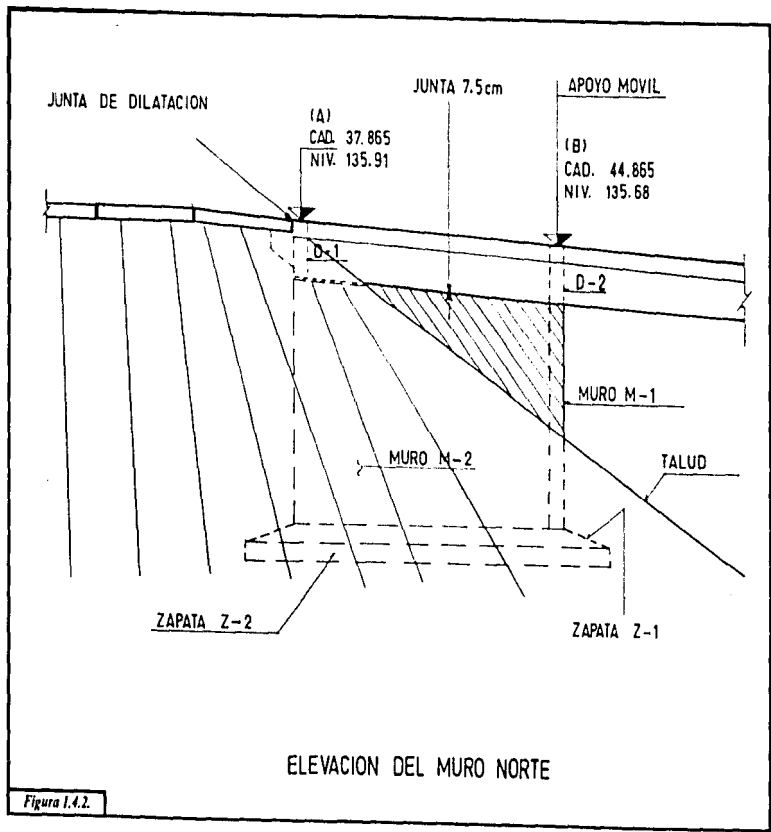


Figura I.4.1.



ELEVACION DEL MURO NORTE

Figura 1.4.2.

PROGRAMA DE OBRA.

Proyecto: Puente vehicular del distribuidor vial "Actópan - Tulancingo".

Actividad	Fecha		Tiempo Días	1994		
	Inicio	Fin		Mayo	Junio	Julio
Excavación	16-05	25-05	8	■		
Zapala sur	25-05	28-05	3		■	
Zapala norte	27-05	31-05	3		■	
Muro sur	30-05	03-06	3		■	
Muro norte	07-06	10-06	3		■	
Relleno en muros	11-07	12-07	1		■	
Tablero	20-06	07-07	18		■	
Banquetas	10-07	12-07	2			■
Presfuerzo y relleno	21-07	23-07	3			■
Ménsulas	25-07	26-07	1			■
Parapeto	25-07	30-07	6			■

Figura 1.5.1. Programa de obra

CAPITULO 2

Construcción de zapatas y muros

2.1 Desvío de tránsito.

Para llevar a cabo las actividades de construcción, tanto del distribuidor vial como las del puente, fue necesario restringir la circulación en la vialidad existente con el desvío del flujo vehicular

Estos desvíos de tránsito requirieron de los estudios basados en los aforos vehiculares que se llevaron a cabo sobre la carretera y el libramiento determinando así el ancho y número de caminos que se necesitaban. Además se revisó el programa de obra y los reglamentos que determinarían las condiciones de operación del tránsito en la zona de obra

En esta sección se presentarán los requerimientos que debieron cumplirse para llevar a cabo el desvío del tránsito vehicular. Su proyecto, implantación y control se desarrollaron dentro de las normas de seguridad y condiciones de operación, reduciendo sensiblemente las molestias y a su vez, garantizando el adecuado desarrollo de las actividades.

Un desvío se define como el cambio de total o temporal de una ruta establecida. Para realizar el desvío se deberá contar con tres elementos principalmente:

1. Volumen de tránsito
2. Estructura vial
3. Dispositivos para su control

Los desvíos de tránsito inducidos por la construcción de cualquier obra deberán cumplir con los siguientes objetivos:

- Evitar en lo posible la total interferencia del tránsito que circule en las inmediaciones de la obra.
- Ofrecer rutas alternativas durante la ejecución de la obra, utilizando principalmente señalamientos que desvíen el tránsito por recorridos alternos.

- No afectar en forma importante los itinerarios del transporte público y de costumbre del transporte individual
- Proteger la obra y a los que trabajan en ella

Los dispositivos para la protección de la obra deberán ser congruentes con los requerimientos de seguridad establecidos por la autoridades, que minimicen los problemas de congestamiento, los accidentes de tránsito y las molestias al público en general

El desvío se realizará utilizando señales preventivas, restrictivas e informativas, las cuales deberán llamar la atención de los usuarios de dichas vialidades y de esta forma transmitirles un mensaje específico y claro, además deberán colocarse en los lugares y a las distancias especificadas por la SCT

En este proyecto además de las señales mencionadas, se utilizaron dispositivos de canalización del tránsito con el objeto principal de hacer notar a los conductores de vehículos los obstáculos reales y aparentes que existen en la zona, utilizando para ello lamparas de destello, mecheros, conos fluorescentes y piedras pintadas de blanco

Como medida de seguridad, todos los trabajadores que realizaron actividades cercanas al tránsito de vehículos y a los encargados de su desvío portaron en todo momento chalecos fluorescentes

Los caminos de terracería que se requirieron para desviar el tránsito de la zona donde se construiría el puente, se utilizaron posteriormente para el distribuidor vial. Estos caminos se construyeron haciendo cortes y terraplenes con el mismo material de la zona los cuales se protegieron con grava de ½ pulgada colocada en una capa de 10 cm. evitando así su erosión provocada por el viento, la lluvia y el mismo tránsito

2.2 Trazo y excavación.

Antes de iniciar el trazo de la cimentación, se procedió a revisar y estudiar con detenimiento los planos del proyecto, esto, debido a que en ocasiones presentan errores o incongruencias en las medidas, ángulos, cotas, etc., el encontrar alguna inexactitud requerirá de llamados telefónicos o aclaraciones del diseñador que llevará determinado tiempo en corregirlas según el tipo de error y las condiciones de comunicación en el lugar de la obra, el realizar dicha revisión traerá grandes beneficios ya que se pueden preparar con anticipación niveles y referencias básicas, evitando así que el personal y la maquinaria permanezcan detenidos mientras se realizan los cálculos o aclaraciones necesarias.

2.2.1 Puntos de control.

Ya en campo y con los cálculos necesarios, se efectuaron las mediciones para ubicar los dos apoyos del puente, tomando como línea - base el trazo del eje B. Terminado este, se delimitó marcando con cal la zona por excavar, para ello se tomaron en cuenta las dimensiones de las zapatas, el espacio que se requeriría para colocar la cimbra, la pendiente del talud y la profundidad de esta.

Para llevar a cabo todos los trazos se utilizaron como referencia los bancos de nivel ya establecidos en la etapa del proyecto. Aunque dichas señales dicesen permanentes, siempre es necesario comprobar su posición, sobre todo cuando sirven de referencia después de haber transcurrido algún tiempo desde su colocación, es decir, no deben considerarse como referencias correctas en tanto no se verifique su ubicación.

Lo anterior se logró corriendo nivelaciones desde el banco de nivel en cuestión hasta los otros bancos o puntos de cota conocida. Este trazo se realizó utilizando un teodolito, nivel, cinta métrica, estadales, balizas y estacas.

Terminado el trazo se delimitó perimetralmente con cal la zona a excavar, ya que durante la excavación y movimiento de tierras no es necesario efectuar trazos muy precisos en los cuales se emplee demasiado tiempo

Con la finalidad de llevar a cabo un control el nivel en la excavación, se instalaron referencias superficiales por medio de estacas, las cuales se colocaron en el perímetro de la excavación a una distancia de 1 00 mts. a partir del límite de la excavación medida perpendicularmente al eje de la misma

2.2.2 Excavación.

La excavación para la cimentación del puente dio inicio con el retiro de la carpeta asfáltica existente utilizando para ello un tractor de cadenas con hoja recta y escarificador, con una retroexcavadora se llevó dicha excavación hasta 10 cm por arriba del nivel de desplante de la plantilla concluyendo estos últimos con excavación manual (pico y pala) con el objeto de obtener una superficie uniforme, evitando así una mayor excavación y remoldeo en el fondo de esta, como se muestra en la figura 2 2 1

Con camiones volteo de 6 y 9 m³ de capacidad se fue retirando el material producto de la excavación, para ser utilizado en terracerías de la ampliación del cuerpo existente de la carretera

Terminada la excavación de aproximadamente 4 50 mts de profundidad con respecto al nivel de terreno natural y afinado el fondo de esta, se procedió a colocar las estacas que indicarían los ejes principales y esquinas de las zapatas por construir.

Debido a que las estacas podrían ser desplazadas ya sea accidentalmente o para ejecutar los trabajos de cimbra, armado de acero, etc., se construyeron vallas o caballetes de madera y se colocaron a 1.20 mts fuera del área de trabajo en ellas se amarraron los hilos que representaban los ejes, una plomada sostenida en la intersección de los hilos atados a dos vallas servía para establecer de nuevo el centro de la zapala

Cabe mencionar que la construcción de un cárcamo provisional evitó la inundación del fondo de la cimentación ya que esta se desplantaría por debajo del nivel de terreno natural, bombeando así el agua producto de las precipitaciones pluviales del cárcamo hasta la superficie con la ayuda de una bomba de dos pulgadas de diámetro

2.3 Zapatas.

La historia de los puentes nos ha demostrado la importancia que tienen las cimentaciones y los riesgos que generan sus fallas. La mayoría de los puentes que han fallado ha sido precisamente por su cimentación, es un riesgo que subsiste para todo tipo de construcción

Cabe mencionar que el objeto de una cimentación es proporcionar el medio para que las cargas de la estructura, concentradas en columnas o muros, se transmitan al terreno produciendo en este esfuerzos que puedan ser resistidos con seguridad sin producir asentamientos excesivos

En toda estructura es necesario distinguir dos partes principales la superestructura y la subestructura

La superestructura en el caso de un puente, es aquella parte que está formada por el tablero, los muros y las columnas. La subestructura es la parte de la estructura que sirve para transmitir las cargas de esta al suelo de cimentación, y es precisamente de la cual se hablará en esta sección

En forma general las cimentaciones pueden ser clasificadas en dos grupos cimentaciones superficiales y cimentaciones profundas. Una cimentación superficial es aquella en la cual los elementos verticales de la superestructura se prolongan hasta el terreno de cimentación, descansando directamente sobre de él mediante el ensanchamiento de su sección transversal con el fin de reducir el esfuerzo unitario que se transmite al suelo. De este tipo son las zapatas aisladas, las corridas y las losas de cimentación. Una cimentación profunda es aquella que se lleva a cabo por elementos intermedios como los pilotes, cilindros y cajones de cimentación ya que el suelo firme se encuentra relativamente a gran profundidad

Para elegir acertadamente el tipo de cimentación, fue necesario realizar un análisis de carga y un estudio de compatibilidad entre la magnitud de estas y las

características del subsuelo, determinando así los asentamientos probables a corto y largo plazo

Para ello se emplearon los métodos más seguros y modernos que se manejan en la actualidad, obteniendo de esta manera la cimentación más adecuada garantizando su estabilidad y eficiencia

De acuerdo a las características estratigráficas del sitio y de las propiedades de los estratos detectados, se consideró adecuado emplear zapatas corridas en cada apoyo del puente, las cuales serían desplantadas en el estrato de arena arcillosa. Las figuras 2.3.1 y 2.3.2 muestran la cimentación en planta del apoyo fijo y del móvil

2.3.1 Plantilla.

Una vez hecho el trazo exacto de las zapatas, se construyó sobre la superficie de desplante una plantilla de 5 cm de espesor, cuya función principal es proporcionar una superficie plana y limpia donde se pueda armar con facilidad el acero de refuerzo y así obtener un recubrimiento uniforme con la ayuda de los separadores, además evita que durante el colado de la zapata el terreno natural absorba el agua de la mezcla del concreto

Para su elaboración se necesitó una cimbra común que contuviera el concreto obteniendo la configuración requerida. Para esto bastó colocar en todo su perímetro polines de 10 x 10 cm de sección, detenidos con estacas hechas de varillas del # 4 clavadas en el terreno, colocadas a cada 100 cm distribuidas en los extremos y al centro de cada polín

El concreto utilizado en su construcción se elaboró en obra utilizando una revolvedora Mypsa Wisconsin R-20 de 30 hp para dos sacos, calculando una resistencia a la compresión $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$, con un agregado máximo de $\frac{3}{4}$ de pulgada y un revenimiento de 12 cm

Antes de colar la plantilla se verificó que la superficie del terreno y la cimbra de madera estuvieran húmedas. el concreto se transportó en botes a su posición definitiva y se compactó por medio de vanillado.

2.3.2 Acero de refuerzo.

Colada la plantilla y transcurridas 12 horas, se comenzó a colocar el acero de refuerzo de la zapata y al mismo tiempo el refuerzo vertical del muro

El armado de la zapata, consistió de un refuerzo transversal de barras del # 5 a cada 10 cm y un refuerzo longitudinal con barras del # 4 con una separación de 25 cm, los extremos de ambos refuerzos se anclaron con ganchos estándar (escuadras) de 20 cm de longitud y un diámetro de dobléz de 8 cm. Todas las intersecciones se amarraron con alambre recocado No. 18.

El lecho superior de la zapata, se reforzó utilizando varillas del # 4 a cada 25 cm en ambas direcciones. Posteriormente se colocaron los separadores hechos de mortero y en forma de cubo entre la plantilla y el armado. El acero de refuerzo vertical del muro se sujetó temporalmente con varillas en diagonal ancladas al terreno para de esta forma mantener su verticalidad.

Debido al esviamiento que presenta el puente, en el análisis estructural se observó una gran descarga del tablero en la esquina aguda que se forma con la intersección de los muros M-1 y M-2, por lo tanto se tuvo que reforzar la zapata en ese punto, construyendo una contra trabe (TA) de sección variable reforzada longitudinalmente con 10 varillas del # 6 en la zona inferior, 4 varillas del # 4 en la zona superior y 2 varillas del # 4 corridas en cada cara, transversalmente se reforzó con estribos del # 4 a cada 15 cm, como se muestra en la figura 2.3.4.

También en la intersección de dichos muros se construyó una columna interna, la cual se reforzó con 12 varillas del # 5 y 6 varillas del # 6, reforzada transversalmente con estribos del # 4 en dos series, como se muestra en el detalle de esquina de la figura 2.3.5.

Todos los cortes en el acero se realizaron con una cizalla de palanca y los ganchos se elaboraron con una máquina dobladora de accionamiento manual

Los ganchos estándar reúnen ciertas características geométricas las cuales se muestran para los diferentes diámetros de varillas según el ACI (American Concrete Institute), en la figura 2 3 3

2.3.3 Cimbra.

La cimbra de los costados de la zapata se realizó utilizando módulos de madera de 2 4 x 0 40 mts. construidos con triplay de 19 mm de espesor, reforzada perimetralmente con madera de 5 x 10 cm apuntalada con madera de la misma sección transversal en diagonal clavadas a polines y estos a su vez detenidos con varillas estacas de vanilia, impidiendo su desplazamiento provocado por el empuje del concreto y la compactación de este, como se muestra en la figura 2 3 6

2.3.4 Colado.

Dos horas antes de el colado de cada zapata se inició un riego intermitente de agua sobre la plantilla y la cimbra con el objeto de mantenerlas húmedas hasta unos momentos antes de colar el concreto evitando así que absorbieran el agua de este

El concreto utilizado en la construcción de las zapatas se dosificó en planta y se transportó a la obra en camiones revolvedora con capacidad de 6 y 7 m³. En la elaboración de las dos zapatas corridas se emplearon 82 00 m³ de concreto clase 1 con una resistencia a la compresión $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ con un agregado máximo de $\frac{3}{4}$ de pulgadas y un revenimiento de 9 cm

Para transportar el concreto de los camiones revolvedora hasta su posición definitiva, se utilizaron carretillas las cuales fueron desplazadas sobre tarimas bien alineadas evitando así la segregación de la mezcla, una vez depositado el concreto se procedió a su compactación utilizando vibradores de inmersión

Durante el colado de cada zapata y por cada entrega de concreto se elaboraron dos cilindros de control con su respectiva prueba de revenimiento, verificando que este fuera de 10 cm o se encontrara dentro de la tolerancia de 2 5 cm como lo especificaban las normas

También se efectuó la prueba de peso volumétrico en las entregas 1 y 5 verificando que fuera igual o superior a 2200 kg/m³.

Los cilindros de control que se tomaron durante el colado, posteriormente fueron ensayados en un laboratorio de resistencia de materiales, verificando de esta manera que el concreto hubiese adquirido la resistencia calculada

Por ser un concreto de resistencia normal, los ensayos se realizaron a los 7 y 28 días. Las tablas 2 y 3 muestran los resultados obtenidos en dichos ensayos y el porcentaje de resistencia adquirida hasta ese momento

2.3.4 Descimbrado y curado.

Al día siguiente de su colado se comenzaron a descimbrar las zapatas, procurando no maltratar la madera, ya que esta sería utilizada en futuras etapas

Terminado este comenzó el curado del concreto, el cual se realizó por un espacio de 7 días, regando agua sobre su superficie dos veces al día, no se aplicó curacreto ya que debía quedar limpia la junta de colado entre el muro y la zapata

2.4 Muros.

Considerando primordial en un puente dar continuidad a una vialidad a través de un accidente natural o artificial del terreno, el muro aparece como un elemento de transición entre dos obras con un solo fin, sustentar la vialidad, pero diferentes en cuanto a técnica y ejecución

Generalmente un muro cumple una doble función estructural, por un lado permite el despegue del tablero y por otro contiene y delimita las tierras de la explanación, evitando así el peligro de su deslizamiento cuando las cargas de los vehículos actuen sobre la explanación

Con el fin de disminuir la necesidad de contener las tierras, algunos diseñadores apoyan el tablero sobre pilas que ocultan vertiendo tierra al rededor del talud para que se autocontengan, otros, utilizan un estribo apoyado sobre las tierras de la explanación constituyendo un estribo perdido, ello lleva a longitudes mayores del claro de luz, además se necesita una compactación muy perfecta para poder garantizar la estabilidad del talud y un recubrimiento en éste que evite su erosión lo cual no es viable

Puesto que los muros son elementos a compresión, la falla de alguno de estos puede causar el colapso total de la estructura. En terminos economicos y sociales la falla estructural de un puente es un evento de principal importancia. Es por esto que se debe tener un cuidado extremo en el diseño de los muros de apoyo, y tener una reserva de resistencia mas altas que las vigas o cualquier otro elemento estructural horizontal, especialmente porque las fallas de compresión proporcionan muy poca advertencia visual

Aparte de los esfuerzos verticales, el muro se ve sometido a las acciones horizontales que le son transmitidas por el tablero en dos direcciones, la longitudinal paralela al tránsito, como las provocadas por la aceleración y frenado de los vehículos y

aciones debidas a variaciones de temperatura, y la transversal, perpendicular al tránsito, como las acciones sísmicas y los cambios de carril de los vehículos.

El estribo utilizado en este proyecto se caracteriza por ser un muro estructural que visto en planta tiene forma de "U", es un elemento que puede cumplir con las dos funciones, es decir, contiene el empuje de tierras y transmite las cargas desde el tablero hasta la cimentación, además proporciona gran estabilidad debido a su geometría

Para su construcción e identificación, cada estribo fue seccionado en un muro M-1 (fig 2 4 1) y dos muros M-2 (fig 2 4 2) paralelos al eje longitudinal del puente

2.4.1 Acero de refuerzo.

Terminada la construcción de las zapatas, se continuó con la colocación del acero de refuerzo de los muros de sección variable, es decir con un ancho en la parte inferior de 50 cm y en la superior de 40 cm, este refuerzo se constituyó por dos capas, para mantener la separación indicada entre las capas de armado, se utilizaron separadores hechos con varilla del # 3 en forma de "U", los cuales se colocaron a cada metro en las dos direcciones

La capa del lado interno de los muros M-1 y M-2, se reforzó verticalmente con varillas del # 6 a cada 15 cm, mientras que la capa del lado externo con varillas del # 5 a cada 25 cm El refuerzo horizontal en ambas capas se realizó con varillas del # 4 a cada 20 cm Para mantener la verticalidad del armado, se colocaron varillas en diagonal dentro del mismo

Con el objeto de ensanchar la sección del muro M-1 del lado norte para colocar las placas de neopreno, este llevó en la parte superior un armado adicional el cual se muestra en la figura 2 4 3

Para conseguir las longitudes de acero requeridas y aprovechar al máximo este material, resultó necesario recurrir al empleo de empalmes.

La forma mas común de efectuar empalmes de barras consiste en traslaparlas por contacto y amarrarlas con alambre. Los empalmes, cualquiera que sea su tipo originan concentraciones de esfuerzos indeseables y grietas creadas por la discontinuidad del refuerzo.

Por ello deben evitarse los empalmes en secciones críticas y también evitar que coincidan todos estos en la misma seccion del elemento. Las longitudes de traslape, depende del diámetro de la varilla y de la zona en que se encuentre trabajando (tension o compresión), y se indican en los planos estructurales.

Los traslapes que se realizaron tanto en el refuerzo vertical como en el horizontal, se situaron en el primer y segundo tercio de su longitud en forma alternada conservando el mismo recubrimiento de 3 cm. en el acero de ambas capas.

Una vez revisada la separación y el amarre de todo el acero de refuerzo, se comenzó a colocar la cimbra.

2.4.2 Cimbras.

En general una cimbra debe contener la masa de concreto sin filtraciones ni distorsiones mayores a las admisibles. Además debe soportar las presiones y cargas que se presentan en el proceso de colocación y compactación del concreto.

Aún cuando la cimbra se utiliza como estructura temporal, tiene un efecto permanente sobre la estructura final de concreto y representa el ingenio de aquellos que intervinieron en su construcción.

Las cimbras para muros de concreto deben ser

1. Suficientemente fuertes para resistir la presión o el peso del concreto fresco mas las cargas del personal y equipo de colado.
2. Suficientemente rígidas para conservarse sin deformaciones extremas durante el colado.

3. Económicas en términos del costo total de la obra.

Quando el concreto se vacía dentro de la cimbra, este produce una presión perpendicular a la superficie de la cimbra proporcional a la densidad y a la profundidad del concreto en estado líquido. A medida que el concreto fragua, cambia de líquido a sólido, con una consecuente reducción de la presión ejercida sobre la cimbra. Esta presión se ve afectada por la velocidad del colado, es decir, que es directamente proporcional a la rapidez con que se va llenando la cimbra.

El material para soporte y reapuntamiento cumplió con las especificaciones establecidas en función de la velocidad de resistencia que el concreto fuera adquiriendo y su capacidad para soportar las cargas vivas y muertas consideradas durante el colado.

La cimbra consistió en módulos de 1.20 x 2.40 mts. hechos con triplay de 19 mm de espesor reforzada con madera de 5 x 10 cm. de sección como se muestra en la figura 2.4.4.

Para conseguir la altura del muro requerida, se colocaron los módulos desde el nivel superior de la zapata hasta el nivel superior que alcanzaría el muro, es decir que los módulos superiores se tuvieron que colocar en posición horizontal y recortarlos a la medida.

Por último para contener los empujes del concreto fresco, se utilizaron tensores o "moños" colocados a una distancia de 0.60 mts. en ambas direcciones, situando el primero a 0.30 mts. de cada paño del muro.

Con el objeto de mantener la cimbra vertical, se utilizaron vigas de madera en diagonal y torones de alambre amarrados a vanillas ancladas en la parte superior del talud que rodeaba la cimbra.

Para realizar las maniobras de colocación y compactación del concreto, se construyó en la parte superior de la cimbra, un andamio de madera abarcando todo el perímetro del muro por la parte interior de este.

Los yugos que se utilizan para soportar la parte externa de la cimbra, deben ser lo suficientemente rígidos y estar separados de tal manera que mantengan alineadas las juntas de las hojas de triplay y eviten que haya una deflexión excesiva

2.4.3 Colado.

Dos horas antes del colado, se comenzó con el nego intermitente de agua, utilizando para ello una motobomba

Para colar adecuadamente los muros, se diseñó un concreto que fuera bombeable con un revenimiento de 10 cm, un agregado máximo de ¾ de pulg y adquiriera una resistencia a la compresión $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$. El volumen de concreto que se requirió para el colado de ambos muros fue de 153.2 m^3

Para bombear el concreto y hacerlo llegar hasta su posición definitiva, fue necesario utilizar una bomba con pluma modelo Schwing, con una línea de conducción de 10 cm. de diámetro finalizando en una manguera flexible del mismo diámetro (trompa de elefante), esta sección de hule se introdujo hasta el fondo de la cimbra para descargar el concreto, disminuyendo el rebote del agregado sobre el acero de refuerzo evitando la segregación del concreto

La segregación la podemos definir como la separación de los diferentes elementos que constituyen la mezcla heterogénea del concreto

El concreto se colocó en capas de 40 cm de espesor y 240 cm de longitud, procurando que el borde de avance de cada capa se mantuviera a 1.20 mts aproximadamente atrás del borde de avance de la capa inferior, como lo muestra la figura 2.4.5.

El concreto se compactó utilizando vibradores de inmersión a gasolina con una frecuencia mínima de ochocientos ciclos por segundo (133 hertz), los cuales se pusieron en marcha 20 minutos antes de comenzar el colado, esto con el objeto de obtener un

buen calentamiento del motor y tener el tiempo suficiente para solucionar cualquier problema que llegara a presentarse en el encendido o funcionamiento

El objeto de la compactación también llamada consolidación es eliminar la mayor cantidad de aire atrapado, lo ideal es reducirlo a menos del 1 %, esto debido a que los vacíos reducen la resistencia del concreto

Un concreto bien compactado será denso, resistente, durable e impermeable. Es por eso que la mejor y mas rápida forma de compactarlo es por medio de vibración

En términos sencillos el vibrado consiste en someter al concreto fresco a impulsos vibratorios rápidos que "licúan" el mortero y reducen en forma drástica la fricción interna entre las partículas de agregado, restableciéndose la fricción al detenerse el vibrado

El vibrador debe introducirse en posición vertical y rapido, de lo contrario, la parte superior de la capa se compactará antes que la parte inferior, dificultando la salida del aire, debe penetrar aprox. 15 cm. en la capa precedente manteniendolo de 10 a 15 seg. después debe retirarse a razón de unos 7.5 cm. por segundo. Cada capa debe colocarse cuando la capa precedente este aun en estado fluido a fin de evitar juntas frias

La continuidad del colado se consiguió estacionando la pluma - bomba en un lugar donde su brazo abarcara todo el muro logrando así una velocidad uniforme en el colado y además fuera de fácil acceso para los camiones revoladora

Durante el colado de cada muro se elaboraron 13 cilindros de control para ser ensayados a los 7 y 28 días, además se realizaron las pruebas de revenimiento y peso volumétrico del concreto fresco. Las tablas 4 y 5 muestran los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio

Proporcionamiento del concreto.

Aunque los ingredientes de las mezclas colocadas por medio de bomba son iguales a los que son colados por otros medios, es esencial contar con un eficiente control de calidad de la dosificación, mezclado, equipo y personal

El tamaño máximo del agregado grueso anguloso debe limitarse al 33 % del diámetro interior del tubo y para los agregados bien redondeados debe limitarse al 40 %

Las propiedades de los agregados finos, juegan un papel más importante en el proporcionamiento de las mezclas bombeables que los agregados gruesos, debido a que junto con el cemento y el agua proveen el mortero que lleva al agregado grueso en suspensión

En caso de que la línea de conducción tenga un diámetro menor a 15 cm, la granulometría de la arena debe cumplir con los siguientes requisitos, del 15 al 30 % debe pasar la malla No 50, y del 5 al 10 % debe pasar la malla No 100. Las arenas con módulo de finura entre 2.40 y 3.00 son generalmente satisfactorias. La arena natural suele ser mejor que la fabricada

El porcentaje de arena recomendado para cada tamaño de malla se indica en la fig 2.46. La fig 2.47 muestra la misma granulometría recomendada en términos de porcentaje individual retenido sobre cada malla y presenta un método más conveniente para determinar la cantidad que falta o sobra de cualquiera de los tamaños. La fig 2.48 contiene franjas de granulometría de agregados combinados (grava y arena) para tamaños máximos de 29 y 40 mm. ($\frac{3}{4}$ y $2\frac{1}{2}$ pulg.), que han proporcionado concretos con buenas características de bombeo.

La tabla 12 muestra el volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto según el módulo de finura de la arena empleada. Estos valores pueden ser utilizados para agregados angulares y redondeados.

Los requerimientos del agua de mezclado varían según los diferentes revenimientos. Los concretos con revenimiento menor a 5 cm. son imprácticos para

bompear, y los que tienen un revenimiento mayor a 15 cm deben evitarse debido al sangrado excesivo y al aumento de contracción

El sangrado ocurre debido a que la densidad de los agregados es dos o tres veces mayor que la del agua, por lo tanto las partículas que ya no están en suspensión se asientan en la masa y desplazan el agua hacia la superficie

Mientras más tiempo permanezca el agua en la superficie diluyendo la pasta, menos durable será la superficie al desgaste. El agua al canalizarse hacia la superficie, debilita la pasta de cemento en la parte inferior de la masa y alrededor del acero de refuerzo, disminuyendo la adherencia. Además estos canales constituyen tuneles para la entrada posterior de la humedad

Respecto a la contracción cualquier concreto colado en condiciones normales sufre un cambio de volumen, el concreto se contrae al secarse debido, en gran parte, a la reducción de agua por evaporación y por la utilización del agua para la reacción química del cemento

Mientras mayor sea el agua en la mezcla de concreto fresco, mayor será la contracción. Mientras más alto sea el revenimiento, mayor será la probabilidad de incremento de grietas por contracción

El revenimiento máximo que se logre antes de que ocurra un sangrado y contracción excesivos depende, en buena medida, del diseño de la mezcla y de la calidad de los materiales empleados

2.4.4 Descimbrado y curado.

El retiro de la cimbra comenzó 48 horas después del colado de cada muro, calculando que el concreto ya había alcanzado una resistencia inicial que podría contribuir a la estabilidad del muro.

Conforme se fue retirando la cimbra, se fueron cortando los extremos de los moños, el corte se realizó a una profundidad de 1.5 cm debido a que el acabado del muro sería de concreto aparente, en caso contrario, estos se podrían haber cortado al ras

Retirada la cimbra se preparó un mortero con arena tamizada con la malla No. 18 y cemento, el cual sería utilizado para reparar las pequeñas zonas donde la superficie del concreto no presentó la apariencia deseada

El curado se realizó aplicando curacreto rojo a razón de 0.25 litros por metro cuadrado, manteniendo así su humedad, ya que en este tipo de elementos vertical es ineficiente realizar un curado tradicional rociando agua, por la poca absorción conseguida además del desperdicio de agua que representa

2.4.5 Relleno.

Una vez aplicado el curacreto se comenzó a rellenar la parte interior del muro con material areno limoso (tepetate) el cual se depositó en capas de 15 a 20 cm empujando dicho material desde la parte superior del talud con la ayuda de un tractor, su compactación se realizó utilizando un compactador manual (bailarina) modelo Dynapac CH-13 con motor a gasolina de 8 h p

La altura de relleno del muro sur, se realizó hasta 5 cm por debajo del nivel de desplante de la losa inferior del tablero, sobre dicho relleno, se construyó una plantilla de 5 cm de espesor hecha de concreto con una resistencia a la compresión $f'c = 100$ kg/cm².

En el muro norte donde el tablero se apoya libremente, la altura del relleno se llevó hasta 1.5 mts. por debajo del nivel de la losa con el objeto de conservar un espacio para alojar la cimbra de la losa inferior del tablero.

2.5 Apoyos para el tablero.

Durante el diseño, una vez seleccionado el elemento que transmitiría las cargas desde el tablero hasta la cimentación, se tuvo la necesidad de pensar en la forma de apoyar el tablero sobre dicho elemento, ya que en el estudio de las estructuras este es un hecho fundamental puesto que el comportamiento de la superestructura depende, entre otras características, de la manera en que este apoyada

Llamamos apoyo a la forma de unión entre una estructura y otra cuando la primera resulta ser una carga para la segunda. Así una estructura puede ser un sistema tierra para otra, si el desplazamiento que le produce es nulo o muy pequeño y por esta razón es capaz de sujetarla totalmente

Para obtener el mejor desempeño del tablero, en su diseño se determino colocarlo en un apoyo libre y uno fijo, permitiéndole así el desplazamiento longitudinal provocado principalmente por los cambios de temperatura

2.5.1 Apoyo fijo.

El apoyo fijo (lado sur) consistió apoyar al tablero directamente sobre los muros estructurales; para efectos sísmicos funciona de la siguiente manera las fuerzas generadas en el tablero tanto en la dirección longitudinal como en la transversal, son transmitidas directamente hacia las zonas rígidas, es decir los muros estructurales M-1 y M-2.

La magnitud de estas fuerzas puede ser calculada de diversas formas, pero la mas sencilla y la que se utilizó consistió en un análisis estático de acuerdo con las hipótesis del RCDF el tablero se comporta como una viga apoyada en dos puntos.

Esta unión se consiguió prolongando las varillas del refuerzo vertical de los muros para que fuera colado junto con el tablero.

2.5.2 Apoyo libre.

El apoyo libre (lado norte) consistió básicamente en apoyar al tablero sobre placas de neopreno, restringiendo su desplazamiento transversal con topes para sismo, el cual se muestra en la figura 2 5 1.

Las dimensiones de cada placa se determinaron de tal manera que el esfuerzo que transmitieran a la parte superior del muro no excediera la resistencia al aplastamiento del concreto. El tablero se apoyó sobre cinco placas de neopreno, cuatro de ellas de 40 x 40 x 7 3 cm y una de 50 x 50 x 7 3 cm colocadas sobre la ménsula del muro M-1, como se indica en la figura 2 5 2

Estas placas se apoyaron directamente sobre unos bancos de mortero (grouts) El grout es un mortero que alcanza una resistencia a la compresión muy superior a la del concreto a una edad temprana y sin contracciones, por lo que es ideal para recibir cargas de gran magnitud, sus características geométricas y su refuerzo, se muestra en la figura 2 5 3

Entre placa y placa se construyó un tope para sismo de concreto reforzado, cada tope se reforzó con 10 varillas del # 4 ancladas 40 cm en el muro, y dos estribos del # 3, como se muestra en las figuras 2 5 4 y 2 5 5

La fuerza sísmica que debe resistir cada tope es la que corresponde a su área tributaria del tablero. El número y dimensiones de los topes que se colocaron, se determinó por el ancho del tablero y la fuerza sísmica a transmitirse a través de ellos.

En su diseño se utilizaron las especificaciones de la AASHTO para diseño por resistencia última en elementos de concreto reforzado. Adicionalmente se revisaron los armados obtenidos para que cumplieran con los requisitos del Reglamento de Construcciones para el D.F. Dicha revisión se llevó a cabo para tomar en cuenta la diferencia de factores que existe entre las fórmulas en virtud de la distinta calidad de los materiales americanos y nacionales.

Con el objeto de proporcionar lateralmente una superficie que permitiera un adecuado desplazamiento longitudinal del tablero, se colocó un par de placas de acero entre cada tope, como se muestra con detalle en la figura 2 5 6

Estas placas de acero A-36 de 5/8" (16 mm) de espesor, se fijaron en cada tope por medio de anclas Hilty de 3/8" de diametro. Esta actividad se realizó después de aplicar el presfuerzo

2.5.3 Placas de neopreno.

El neopreno es un hule o elastómero artificial que se distingue del natural por tener una mayor durabilidad gracias a su gran resistencia a los desgastes atmosféricos. En esencia, un apoyo de neopreno consiste de una o varias capas con un espesor que puede ir desde 1/2 hasta 2 pulgadas

Estos apoyos ofrecen considerables ventajas, técnicamente destacan por su eficiencia. La placa se deforma en cortante sin que haya deslizamiento entre ella y el apoyo de concreto, ni entre ella y la nervadura. Además se acomoda al giro de los extremos del tablero y absorbe la vibración en el tablero producida por las cargas dinámicas de los vehículos

Bajo la compresión de la carga vertical, el neopreno absorbe las irregularidades de la superficie de concreto en el apoyo, con lo que se evitan las concentraciones de esfuerzos y se logra una presión uniforme. Puede soportar esfuerzos de compresión del orden de 70 kg/cm². El flujo plástico bajo la compresión es mínimo es decir que no se aplasta fácilmente con el paso del tiempo, la mayor parte de esta deformación plástica se presenta en los primeros 10 días bajo carga

Una ventaja notable es que puede absorber movimientos longitudinales como transversales, lo cual es de gran importancia en puentes demasiado anchos. No hay peligro de que el apoyo impida el deslizamiento del tablero debido a su corrosión como ocurre con las placas de acero. Por último, los apoyos de neopreno no requieren

mantenimiento y su durabilidad es considerable. La experiencia indica que es razonable atribuirles una vida útil de 35 a 50 años.

FIGURAS.
(Capítulo 2)

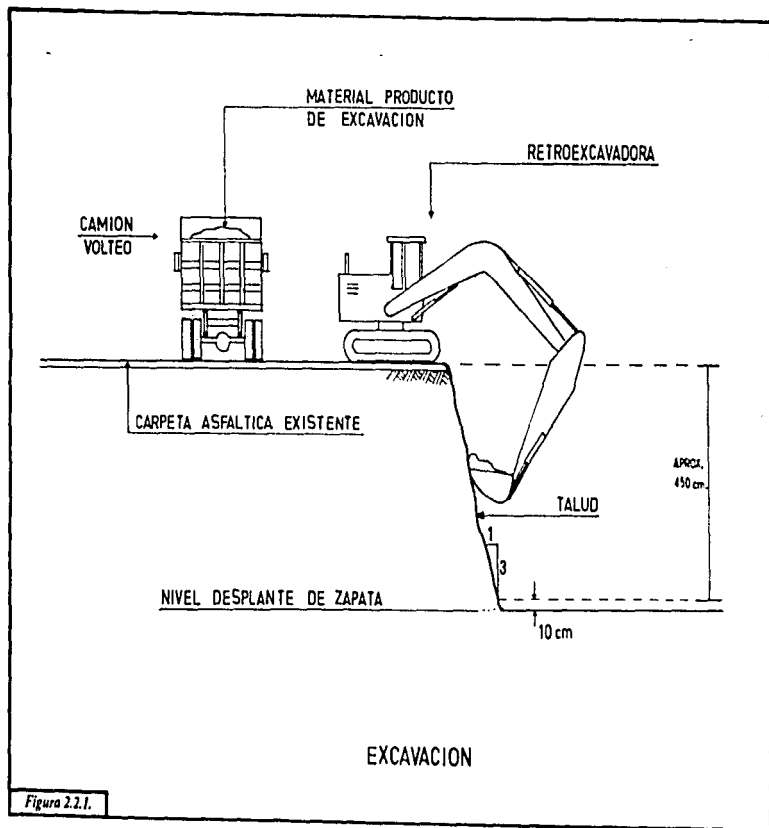


Figura 2.2.1.

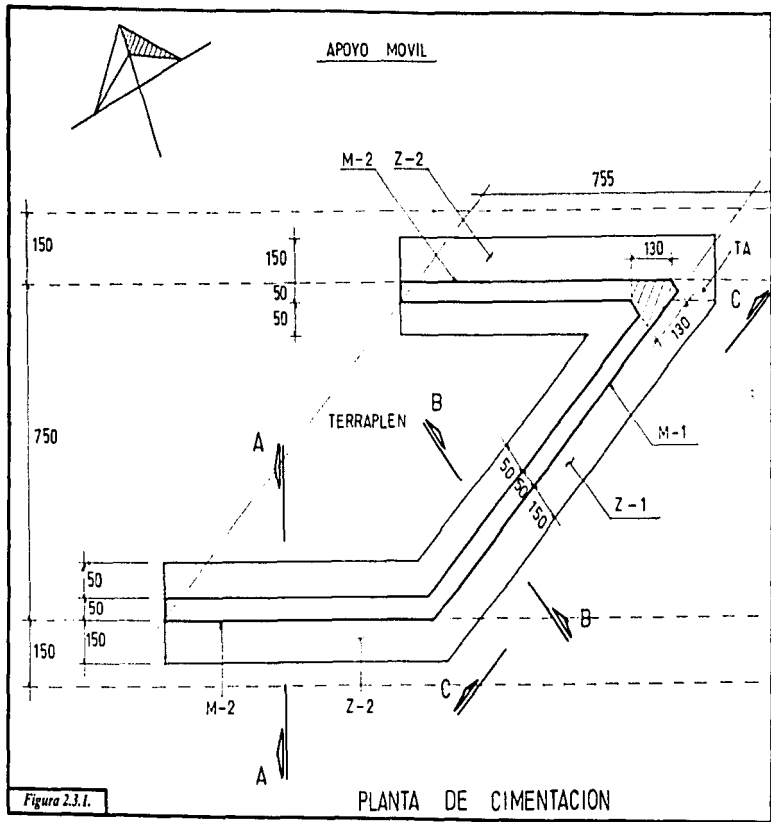


Figura 2.3.1.

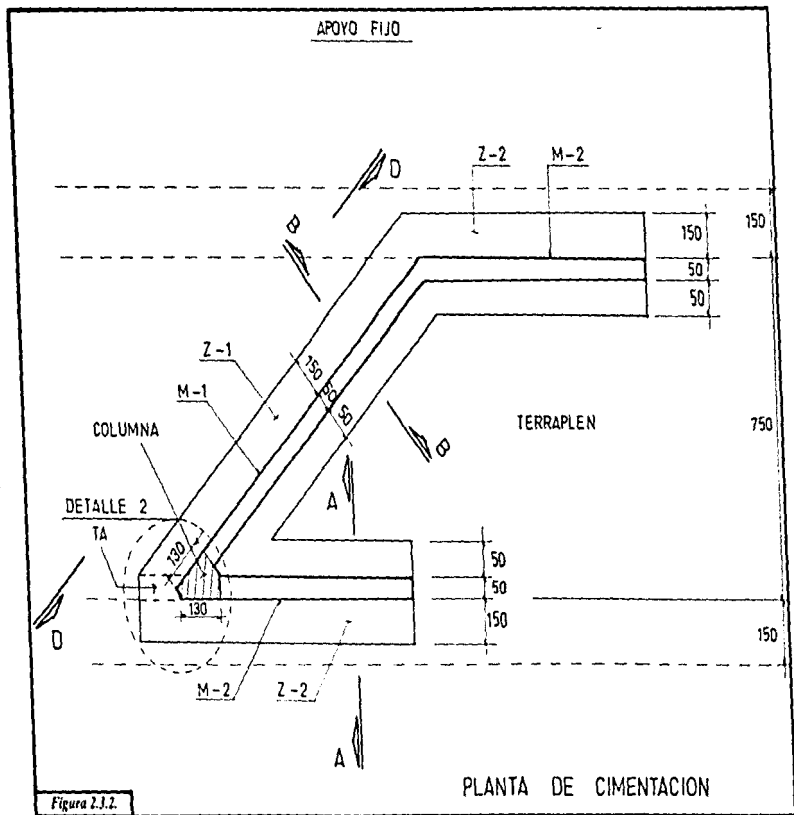
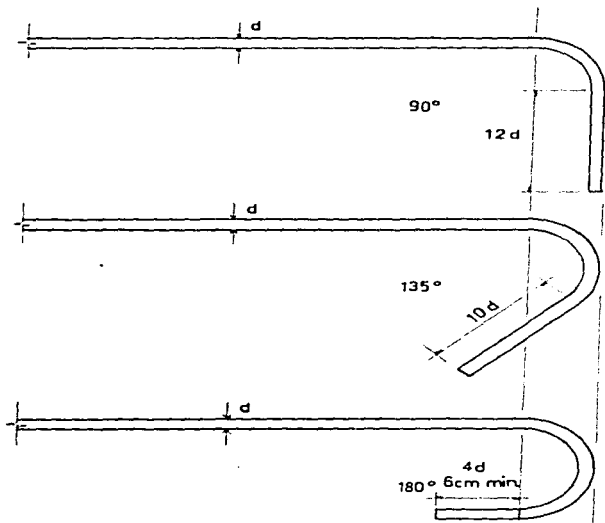


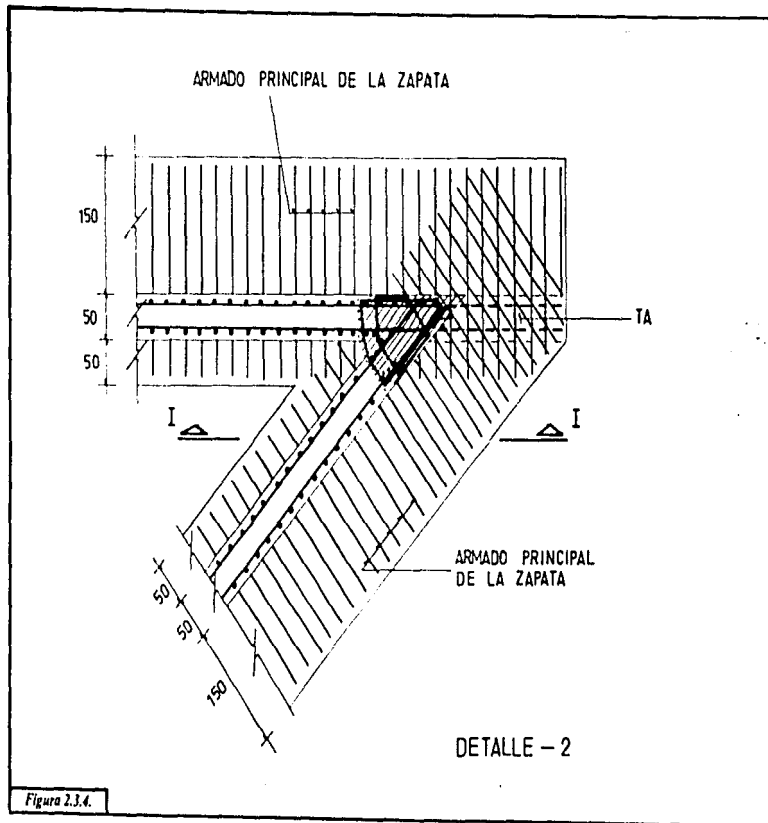
Figura 2.1.2.

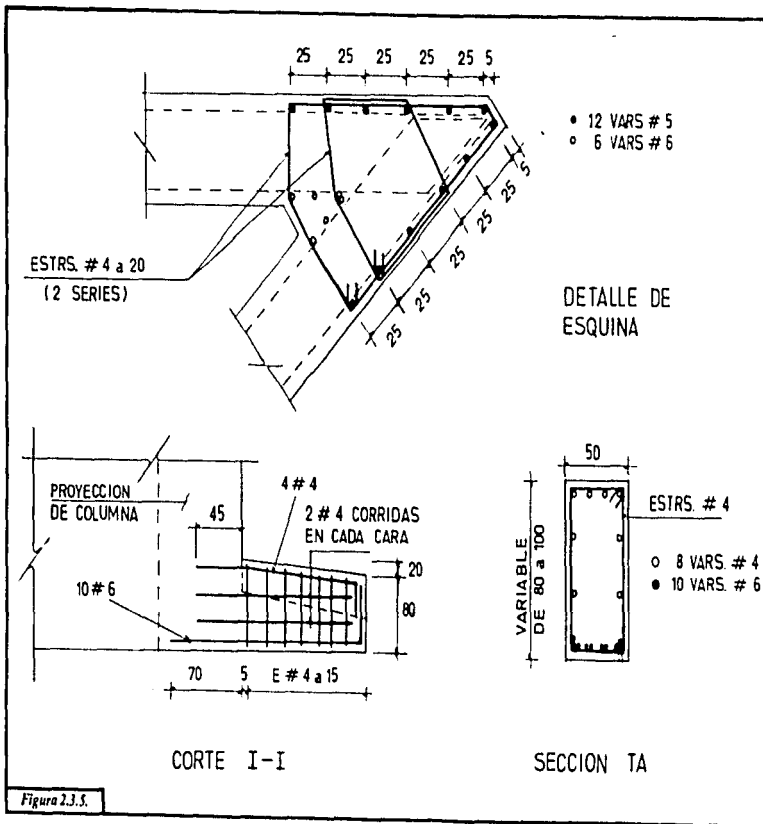


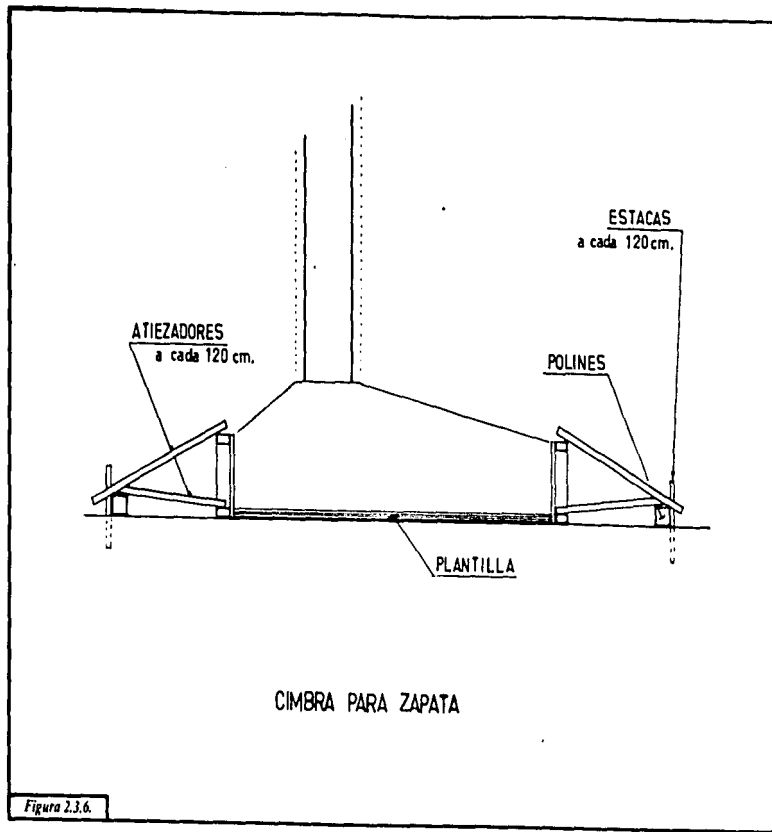
PARA VARS. # 3 al 8	4d
# 9 al 11	5d
# 14 y 18	6d

GANCHOS ESTANDAR

Figura 2.3.3.







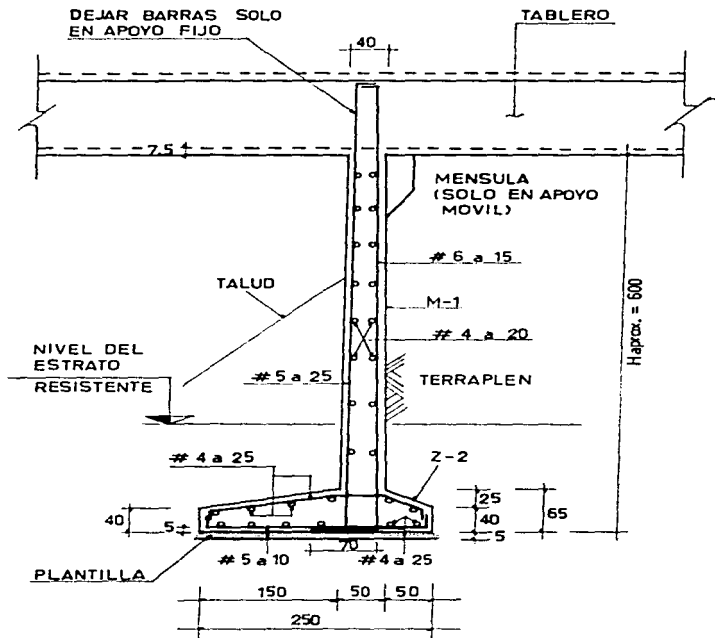
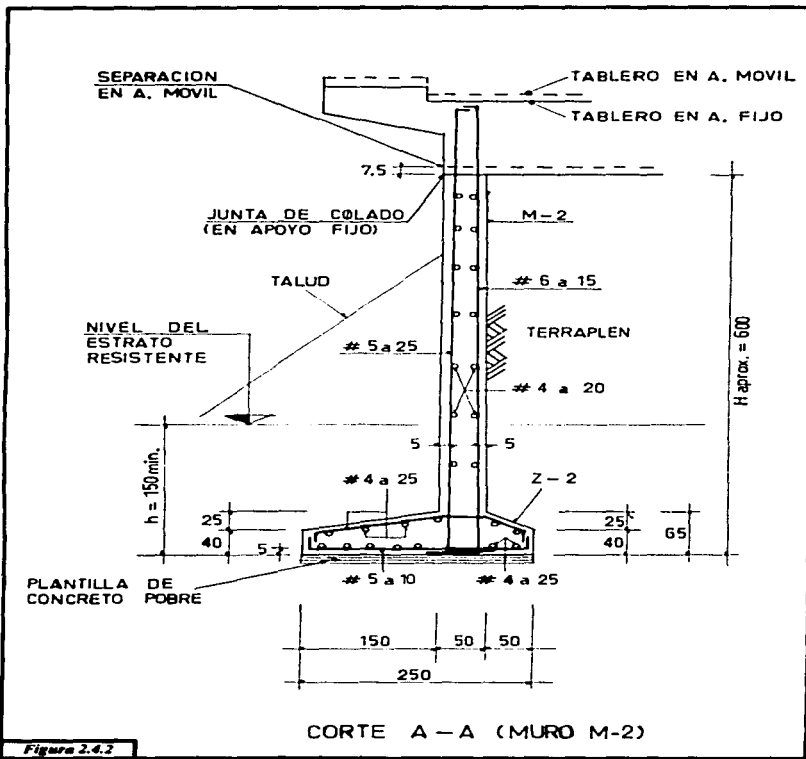


Figura 2.4.1

CORTE B-B (MURO M-1)



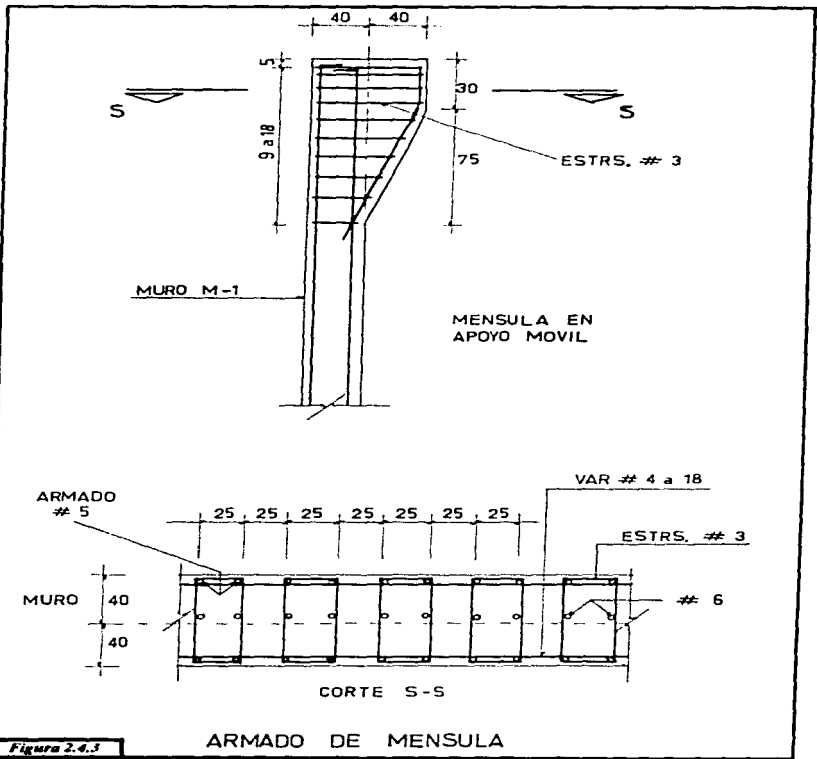
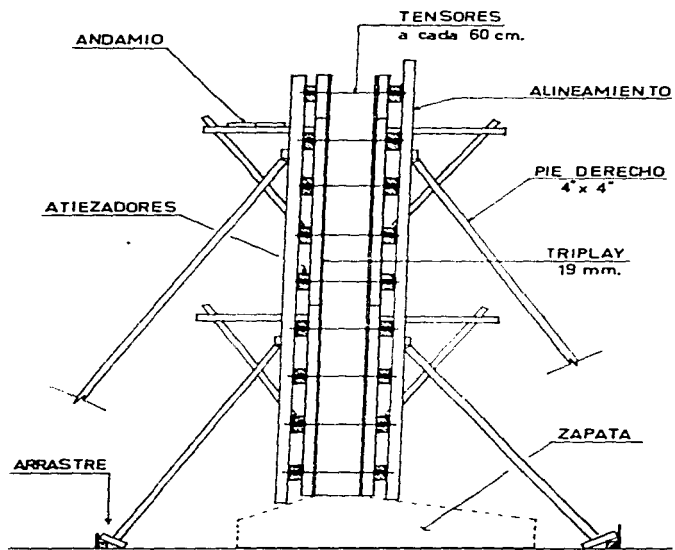
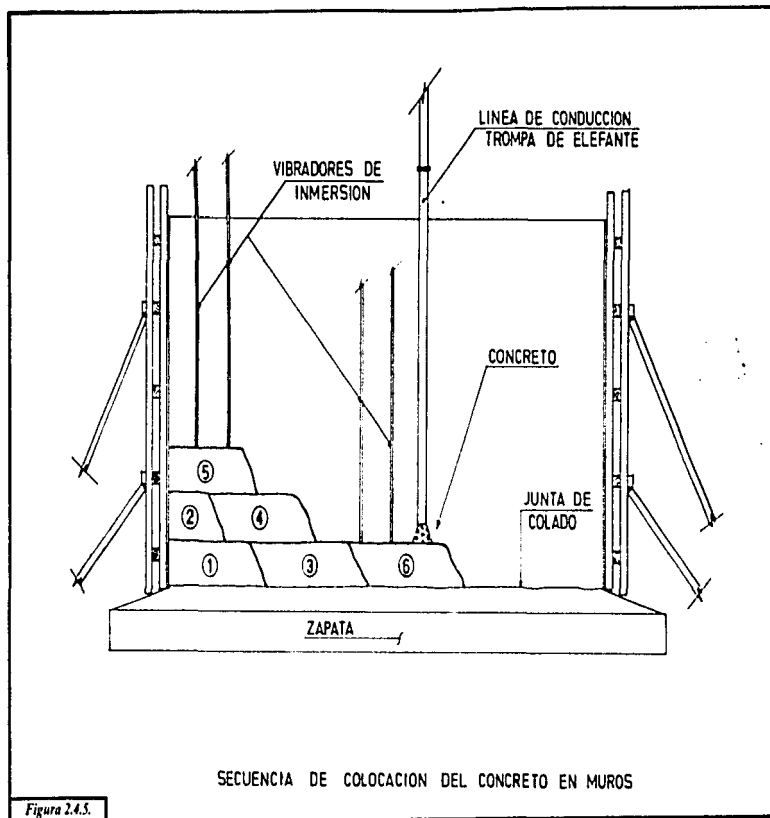


Figura 2.4.3



CIMBRA PARA MURO
(CORTE TRANSVERSAL)

Figura 2.4.4.



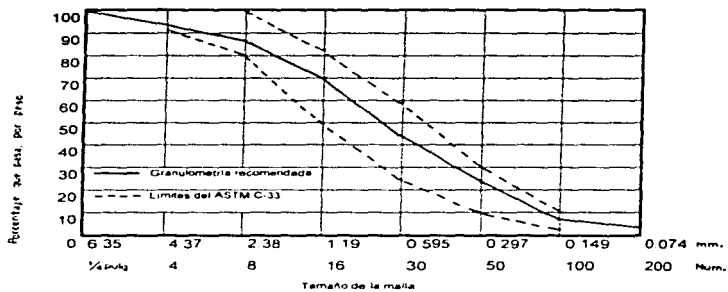


Figura 2.4.6. Límites de granulometría del agregado fino para concreto bombeado.

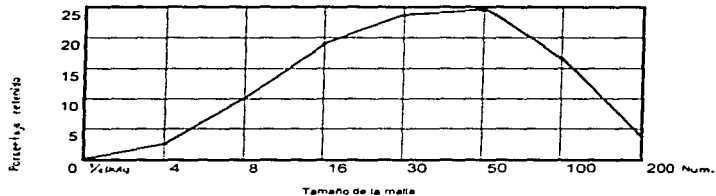


Figura 2.4.7. Valores de granulometría en cada malla para concreto bombeado.

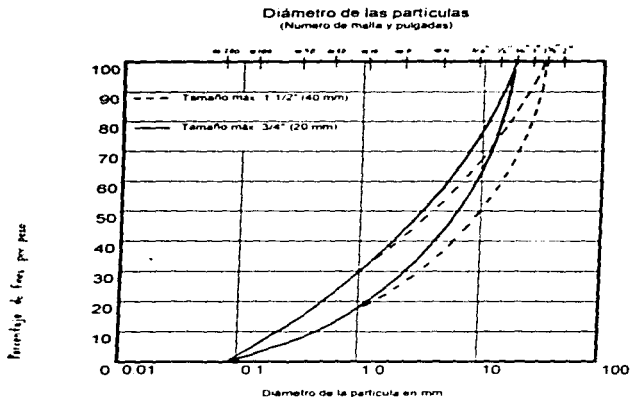


Figura 2.4.8. Límites de granulometría combinada de agregados para concreto bombeado.

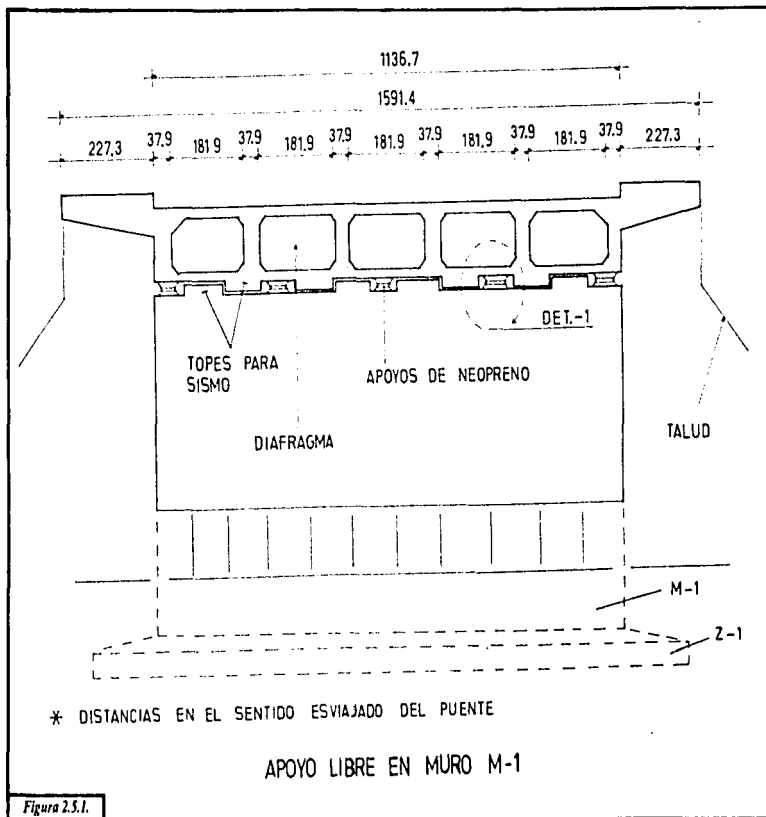


Figura 2.5.1.

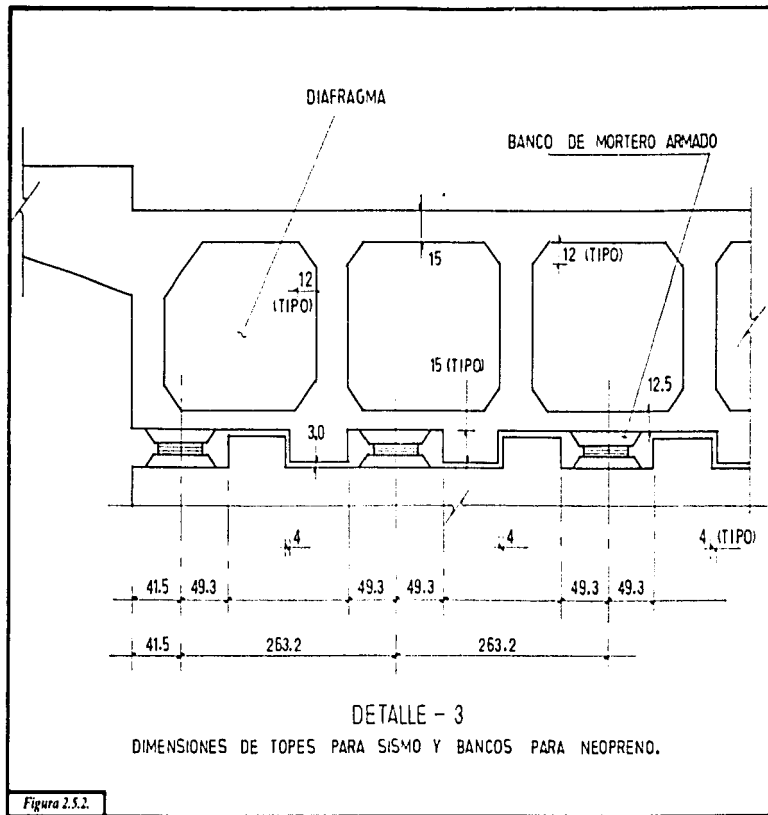
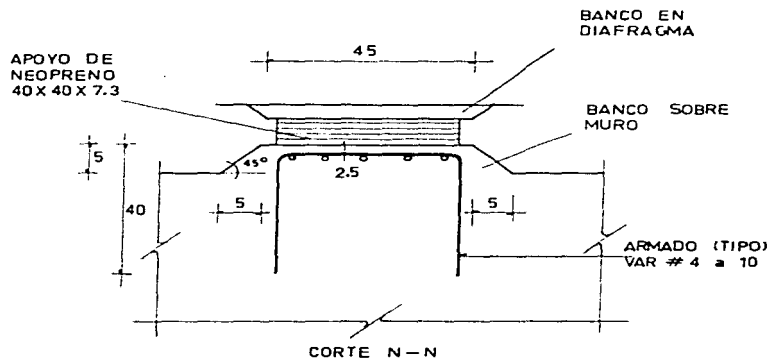
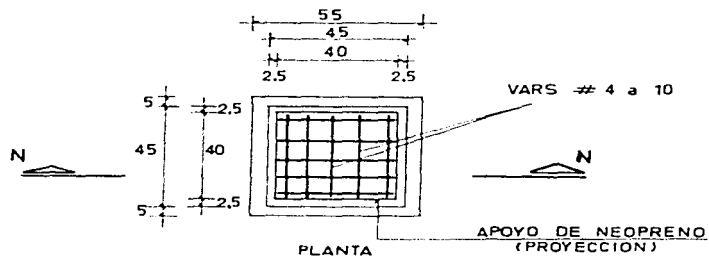
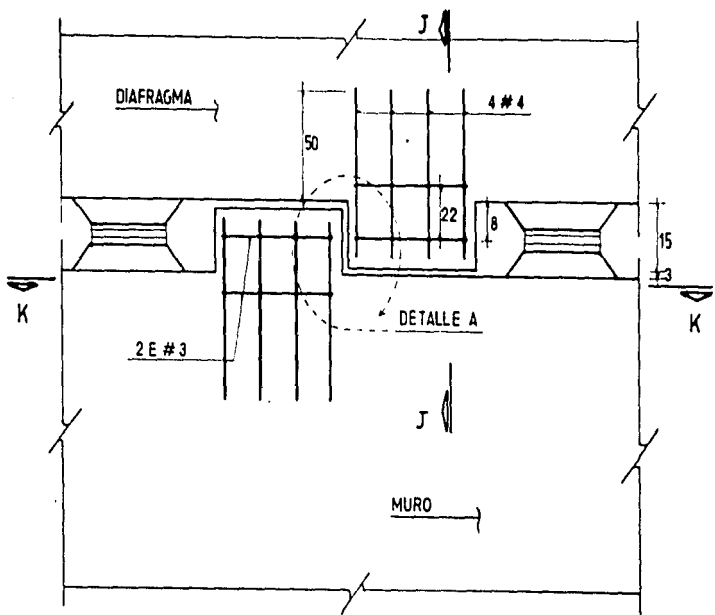


Figura 2.5.2.



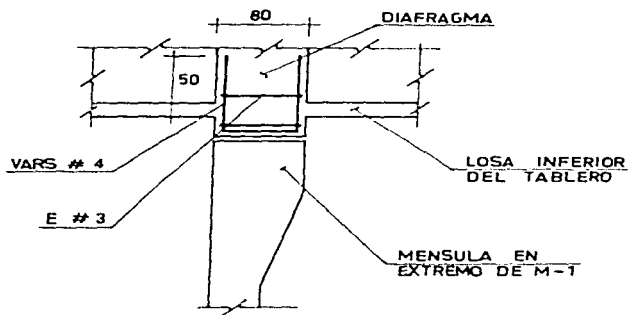
DETALLE - 1

Figura 2.5.3

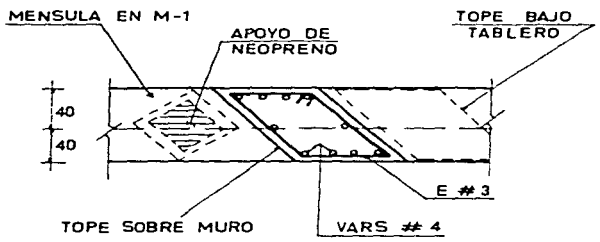


REFUERZO TIPO EN TOPES PARA SISMO

Figura 2.5.4.

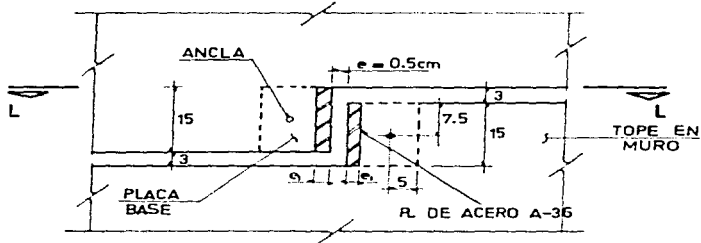


CORTE J-J

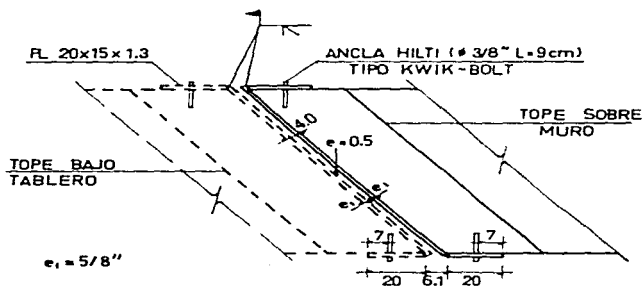


CORTE K-K

Figura 2.5.5.



DETALLE A



CORTE L - L

CAPITULO 3

Construcción del tablero

Como ya se mencionó el tablero de un puente vehicular, es aquella parte de la estructura donde circulan los vehículos con el objeto de salvar el obstáculo vial. Dependiendo de sus materiales y forma de trabajo puede estar estructurado de diferentes maneras con elementos que resistan las cargas vehiculares y sean capaces de transmitir las hasta los apoyos.

El tablero de este proyecto quedo estructurado por los siguientes elementos, para conseguir el menor peralte constará de 6 nervaduras o vigas principales de concreto presforzado con una longitud total de 45 00 mts apoyadas a 7 50 mts de sus extremos, es decir, salvando un claro de 30 00 mts, estas nervaduras estarán unidas entre si por medio de 5 diafragmas distribuidos transversalmente de la siguiente manera uno en cada extremo (D-1), uno en cada apoyo (D-2) y uno al centro del tablero (D-3), como se muestra en las figuras 3 0 1 y 3 0 2.

Sobre las nervaduras y a todo lo largo y ancho del tablero, se colocó una losa de concreto reforzado como superficie de rodamiento para los vehículos, y por debajo de las nervaduras otra losa que brindaría una mayor rigidez a la torsión del tablero, como se muestra en la figura 3 0 3.

Etapas de construcción del tablero

- 1 - Losa inferior
- 2 - Diafragmas, nervaduras y losa superior.
- 3 - Prefuerzo
- 4 - Relleno en ductos.
- 5 - Ménsulas y banquetas
- 6 - Parapeto metálico

3.1 Losa inferior.

La construcción de esta losa con un espesor de 12.5 cm proporciona una mayor rigidez al tablero, y brinda un excelente acabado al tablero

3.1.1 Cimbra.

Como se recordará del proyecto vial, el tablero será la continuación de una curva vertical y necesita una pendiente transversal para su drenaje en el extremo oriente, por ello se requiere colocar una obra falsa que se ajuste perfectamente a los niveles de proyecto

La obra falsa, se construyó utilizando torres tubulares a base de módulos y crucetas alcanzando así una altura de 5.70 mts. estas poseen en sus extremos un mecanismo (tubo de extensión) que permite nivelarlas tanto en la parte inferior como en la superior obteniendo una completa verticalidad sin depender de la superficie del terreno

Su diseño a base de módulos intercambiables se adapta fácilmente a cualquier proyecto, y la operación de montaje se realiza fácil y rápidamente sin necesidad de herramienta ni mano de obra especializada

Estas torres son muy seguras si se cumplen las siguientes reglas

1. No será seguro ningún módulo que esté visiblemente doblado o dañado por lo que debe descartarse
2. Deben utilizarse únicamente los pasadores de acero de alta resistencia suministrados por el fabricante, los pernos oxidados o pedazos de alambón resultan muy peligrosos como sustitutos
3. Los tubos de extensión deben colocarse precisamente debajo del centro de la pieza que soportan. Debe corregirse cualquier excentricidad de más de 4 cm.
4. Las torres deben quedar a plomo. Cualquier torre que esté inclinada 1.5° o 1 en 80 fuera de plomo debe ser corregida

5. Las crucetas que se utilicen para espaciar los marcos, serán fijadas por medio de pernos de seguridad.

Para seleccionar la cimbra, se realizó una evaluación de los aspectos relevantes de los colados que se llevarían a cabo durante el proceso de construcción, como la trabajabilidad, colocación, compactación, velocidad de adquisición de resistencia y apariencia final del concreto en la estructura, los cuales influyen en la mecánica de la cimbra y el descimbrado posterior una vez que hubiese fraguado el concreto.

Como cimbra de contacto para el claro central se utilizaron hojas de tripaly de 19 mm de espesor apoyadas en polines sostenidos horizontalmente por vigas metálicas, como se muestra en la figura 3.1.1. Debido al esviamiento del puente, en las zonas cercanas al muro, las vigas metálicas (madrinas) de la obra falsa se cambiaron por vigas de madera las cuales podían ser recortadas a la longitud requerida sin mayor problema.

El acabado aparente del concreto demanda cimbras de buena calidad, por lo tanto las juntas deben ser hermeticas utilizando para ello madera y en ultimo de los casos papel.

La sección del tablero localizada dentro del muro sur, no requirió de cimbra por ser un apoyo fijo, bastó construir sobre el relleno una plantilla de concreto simple.

Para la otra sección del tablero localizada dentro del perímetro del muro norte se colocaron hojas de triplax como cimbra ya que este muro constituiría el apoyo libre. Como cimbra entre la parte superior de los muros M-2 y la inferior de la losa, se colocaron 4 capas de "celotex" obteniendo así una separación de 5 cm y en la parte superior del muro M-1, se colocó madera alrededor de las placas de neopreno logrando así que el concreto del tablero se apoyara únicamente en estas placas y no en el muro.

El celotex es un conglomerado hecho con fibras sintéticas la le dan una gran elasticidad, por lo regular se fabrica en placas de 4 x 4 pies y 1/4 pulg. de espesor.

Como cimbra vertical de la losa y de las nervaduras externas, se utilizaron módulos de madera de 0.80 x 2.40 mts apoyados en la cimbra horizontal de la losa y sostenidos por barrotes de 2" x 4" en diagonal

Los chaflanes (elementos que forman los huecos o depresiones), deben colocarse asegurándolos con clavos a cada 60 cm de tal manera, que resistan cualquier desplazamiento causado por los esfuerzos originados por la compactación del concreto o el descimbrado, además de evitar la penetración de lechada ya que esto podría provocar resultados desastrosos al retirar la cimbra

Para disminuir el esfuerzo en el suelo provocado por la descarga de los apoyos de las torres y en consecuencia los hundimientos, se colocaron debajo de estas vigas de madera consiguiendo así una distribución de esfuerzos

3.1.2 Acero de refuerzo.

Colocada y nivelada la cimbra, se colocaron las nervaduras semi armadas, posteriormente se procedió a realizar el armado de la losa inferior utilizando varilla del # 3 a cada 22.5 cm en ambas direcciones, como se muestra en la figura 3.1.2

Al terminar el armado se procedió a colocar los separadores de mortero entre la cimbra y el acero, estos separadores son de gran utilidad e importancia ya que proporcionan un recubrimiento uniforme y es difícil que se muevan debido a que son amarrados al mismo acero de refuerzo

Para elaborar los espaciadores o separadores, se debe utilizar un mortero compuesto por una parte de cemento y dos de arena, y solamente el agua necesaria para obtener un mortero denso. Se debe cuidar de que cualquier alambre ahogado dentro de los bloques quede lejos de la superficie para evitar que aparezcan manchas de óxido en la superficie del concreto.

Al fijar cierto número de varillas paralelas se debe evitar colocar los separadores en línea recta a través de la sección, debido a que se puede producir un plano de

debilidad en concreto. Nunca hay que colocar el acero de refuerzo sobre la cimbra y tratar de elevarlo conforme se vacía el concreto

3.1.3 Colado y curado.

Colocado el acero de refuerzo de dicha losa y parte del refuerzo inferior de las nervaduras y vigas diafragma, se procedió a su colado

En el colado de esta losa, se utilizaron 42.2 m³ concreto clase 1 de resistencia rápida adicionado con un superfluidificante calculando una resistencia a la compresión $f_c = 350 \text{ Kg/cm}^2$ el cual se elaboró en planta con cemento tipo 3 y un agregado máximo de $\frac{1}{4}$ de pulgada. El concreto tuvo una relación agua-cemento por peso de 0.45

El cemento portland tipo 3 de resistencia rápida es químicamente similar al cemento portland normal, pero es de grano más fino por lo cual adquiere la resistencia específica a temprana edad y con mayor rapidez.

El término "resistencia rápida" no debe confundirse con el término "fraguado rápido". El concreto elaborado con cemento de resistencia rápida adquiere consistencia y se endurece, inicialmente a una velocidad similar a la del cemento normal pero después de este endurecimiento inicial, el aumento de resistencia se vuelve más rápido.

El superfluidificante es una sustancia química que cuando se adiciona al concreto le imparte una trabajabilidad extrema la cual sobrepasa los límites de aquella obtenida por medio de los aditivos fluidificantes normales, es ideal para las zonas congestionadas de acero de refuerzo además la resistencia del concreto se desarrolla normalmente.

El aditivo que se utilizó (Pozzolith 322 N), se adicionó directamente a la mezcla de concreto dentro de la revolvedora momentos antes de usarse. La dosificación se realizó a razón de 2 lit/m³, posteriormente la mezcla se agita a máxima velocidad por un espacio de cinco minutos, cambiando el revenimiento de 12 a 22 cm.

Una vez mezclado, la fluidez se retiene por aproximadamente 45 minutos; es por esta razón que el concreto debe colocarse sin retraso después de adicionarse el superfluidificante.

Antes de iniciar el colado, se verificó que todo el acero de refuerzo se encontrara perfectamente amarrado y separado de la cimbra retirando de esta todo el material de desperdicio que no tuviera un fin estructural

Para depositar el concreto en su posición final, fue necesario bombearlo utilizando una bomba pluma con un ducto de 10 cm de diámetro. El colado de la losa comenzó por el lado norte con el fin de llevar una pendiente en ascenso evitando así la descompactación del concreto

Su consolidación se realizó con la ayuda de vibradores de inmersión a gasolina, los cuales se introducían lo más inclinado posible tratando de que la cabeza del vibrador permaneciera dentro del concreto

El esfuerzo aplicado en la compactación de un concreto para lograr un acabado aparente debe ser mayor que el empleado para la producción de elementos sin este tipo de acabado. El curado se realizó por medio de rociado de agua

Durante el colado se verificó que la temperatura del concreto en el momento de su colocación no fuera menor de 18 °C ni mayor de 32 °C; además se elaboraron 10 cilindros de control con sus respectivas pruebas de revenimiento, es decir dos por cada entrega de concreto verificando que este fuera de 10 cm o se encontrara dentro de la tolerancia de más o menos 2.5 cm, también se realizaron 2 pruebas de peso volumétrico verificando que este fuera superior a los 2200 Kg/ m³. La tabla 6 muestra los resultados de los ensayos de estos cilindros de control.

El revenimiento es una de las pruebas que nos permite conocer la consistencia y trabajabilidad del concreto fresco. Esta prueba se lleva a cabo de la siguiente manera.

- Sobre una superficie nivelada y firme se coloca el cono de revenimiento y se agrega el concreto hasta una tercera parte del volumen del cono golpeando el material 25 veces con una varilla de acero con punta de bala de 16 mm (5/8 de pulgada) de diámetro.
- Se continúa el llenado hasta dos terceras partes y se golpea con la varilla 25 veces penetrando apenas la primera capa sin traspasarla. Posteriormente se llena el cono hasta desbordarlo y se golpea 25 veces sin traspasar la capa inmediata inferior.
- Utilizando la misma varilla se retira el exceso de concreto que se encuentra en la parte superior del cono dejándolo al ras. Se sujetan las asas superiores, se presiona firmemente hacia abajo mientras se retiran los pies de los estribos. Se levanta el cono con un movimiento firme y el concreto del molde se revenirá.
- Se voltea el cono y se coloca junto a la muestra pero sin tocarla. Se coloca la varilla de apisonado horizontalmente sobre la parte superior del cono. La distancia en centímetros entre el promedio de la parte superior de la muestra y la parte baja de la varilla da el revenimiento del concreto.

3.2 Nervaduras, diafragmas y losa superior.

En esta sección se hablará de las nervaduras, los diafragmas, la losa superior y estribos para las banquetas o aleros, el armado de dichos elementos se muestra en la fig 3.2.1.

El tablero consta de seis nervaduras y cinco diafragmas. Cada nervadura tiene una sección de 120 x 25 cm y una longitud de 45 00 mts. para su identificación se clasificaron en nervaduras centrales (N-1), intermedias (N-2) y externas (N-3) Respecto a los diafragmas, se tienen dos diafragmas externos (D-1), dos intermedios (D-2) y uno central (D-3)

Aunque el ancho del tablero, (sin banquetas), es de 7 50 mts, debido al esviamiento que presenta el trazo del puente, los diafragmas tienen una longitud de 11 37 mts. Los diafragmas intermedios y el central tienen una sección de 120 x 50 cm, los diafragmas externos una sección de 120 x 60 cm de ancho

Estos diafragmas tienen la función de repartir o distribuir las cargas concentradas a todas las nervaduras, consiguiendo en estas últimas una disminución en esfuerzos y deflexiones, además proporcionan estabilidad a las nervaduras ante la aplicación de fuerzas laterales en el tablero, como las provocadas por los cambios de carril de los vehículos y las acciones sísmicas

3.2.1 Acero de refuerzo.

Las seis nervaduras que se utilizaron en el tablero, se armaron fuera de su posición y se transportaron en tramos de 23 00 mts traslapando cada tramo 50 cm, esta operación redujo considerablemente el tiempo de armado de todo el tablero, para su elaboración se colocaron polines separados a cada dos metros los cuales facilitaron su armado y permitieron armar una sobre otra.

El refuerzo principal de estas nervaduras, consistió de 2 varillas del # 6 en el lecho inferior y superior, además 3 varillas del # 3 corridas en cada cara. Los estribos se construyeron con varilla del # 4 y ganchos estándar de 135 grados alternando su ubicación de este dentro de la nervadura colocándolos a la separación indicada en la fig. 3 2 2, en los extremos del armado principal se utilizaron como anclaje ganchos estándar en escuadra con una longitud de 40 cm y un diámetro de dobléz de 14 cm

Posteriormente dentro del armado de cada nervadura, y en toda su longitud, se colocaron los ductos que llevarían los cables para el presfuerzo del tablero. La tabla 10 muestra por medio de coordenadas la trayectoria que llevó cada ducto dentro de las nervaduras N-1, N-2 y N-3, y la figura 3 2 3 muestra esquemáticamente la trayectoria y los puntos de control

Para mantener a los ductos en su posición correcta se construyeron soportes en forma de "U" con varilla del # 4 los cuales se amarraron al refuerzo transversal de las nervaduras

Estos soportes cumplen una doble función, la primera es mantener a los ductos en su trayectoria (parabólica) durante el colado, la segunda es contribuir a la resistencia del concreto entre los dos ductos debido a que en esta zona se pueden presentar grandes esfuerzos en la etapa del tensado de cables

Antes de su colocación se verificó que los ductos fueran de acero, ya que no se permite que sean de aluminio por la reacción química que tiene con el concreto. Durante el diseño el tamaño del ducto se seleccionó de tal manera que la relación entre el área transversal del cable y la del ducto fuera de aproximadamente 0.5, obteniendo así las 3 pulgadas de diámetro. Para conseguir la longitud requerida (45 m), los ductos se unieron por medio de coples fijándolos con cinta plástica adhesiva

En las curvas superiores de todos los ductos se realizaron perforaciones con el objeto de introducir una manguera que permitiera la salida de aire durante la etapa del relleno, estas salidas tienen el nombre de ventilas, las uniones entre el ducto y las mangueras fueron selladas con cinta plástica, estas mangueras se colocaron en forma

vertical sobresaliendo de 30 a 40 cm. por encima de la nervadura y su extremo superior se dobló y amarró con alambre para evitar que se introdujera el concreto durante el colado.

En los extremos de cada ducto, se colocaron las placas de acero para el anclaje de los cables; entre el ducto y la placa se colocó un cono metálico en el cual se insertó verticalmente una manguera de 5/8 de pulgada de diámetro sobresaliendo 30 cm. por encima de la nervadura. Todas las uniones se sellaron con cinta.

Estas placas de una pulgada de espesor y 30 cm. por lado poseen un onificio central de 10 cm. de diámetro y un onificio en cada esquina de 1 cm. de diámetro los cuales sirven para fijar la placa al acero de refuerzo del bloque extremo. Detrás de la placa se colocó paralela a ella un refuerzo en espiral hecho con varilla del # 4, como se muestra en la figura 3.2.4.

En refuerzo principal de los diafragmas se utilizaron varillas del # 4 y 6 distribuidas como se indica en la figura 9, algunas varillas del # 8 fueron sustituidas por varillas del # 6 y 4 conservando así el área de acero. El refuerzo transversal consistió de estribos a cada 10 cm. de varilla # 4 externos y # 3 internos.

En los diafragmas externos se amarró el acero de refuerzo para las ménsulas donde posteriormente serían apoyadas las losas de transición. Además en el diafragma externo del apoyo libre se colocó un refuerzo adicional para fijar la junta de calzada.

El armado de la losa superior consistió en colocar un refuerzo longitudinal con varillas del # 4 a cada 18 cm. en la parte inferior y a cada 22 cm. en la superior; y un armado transversal con varillas del # 4 a cada 20 cm. en ambas direcciones.

Los traslapes utilizados para darle continuidad al acero en el armado de la losa se realizaron con una longitud de 50 cm.

El acero de refuerzo utilizado en la capa superior de la losa, se prolongó hasta los estribos y se alternó con varillas corridas del mismo número, por último se verificó que todo el acero de refuerzo estuviera perfectamente bien colocado y amarrado.

3.2.2 Cimbra.

La cimbra de las nervaduras internas, diafragmas y losa superior, consistió en bloques de espuma de poliestireno con una densidad de 10 kg/m^3 . Esta cimbra se considera como perdida, ya que no puede ser recuperada después del colado, pero tiene la ventaja de ser ligera y fácil de colocar.

La cimbra de los alerones de sección variable, consistió en hojas de triplay colocadas con una pendiente de 23 %, las cuales se apoyaron sobre polines y estos a su vez sobre vigas metálicas. Para evitar que las vigas metálicas se voltearan por estar sometidas a una carga excéntrica, se colocaron cuñas de madera entre éstas y los polines, como se muestra en la figura 3.2.5.

3.2.3 Colado y curado.

Aunque parte del armado de las nervaduras se colocó en la etapa de construcción de la losa inferior, su colado no se llevó a cabo hasta que la losa inferior adquiriera un fraguado inicial y se pudiera colocar la cimbra para las nervaduras.

Dos horas antes del colado, se comenzó con el riego intermitente de agua sobre la losa inferior y la cimbra de contacto. Las juntas entre la losa inferior y las nervaduras, se limpiaron perfectamente con agua a presión.

Posteriormente se continuó con el colado de las nervaduras, las vigas diafragma, la losa superior y los estribos para las banquetas, obteniendo así un colado monolítico de la parte superior del tablero. Para ello se utilizaron 128 m^3 de concreto clase 1 de resistencia rápida con una $f_c = 350 \text{ Kg/cm}^2$, y un agregado máximo de $\frac{3}{4}$ de pulgada con características para ser bombeado.

En nervaduras y diafragmas, el concreto se depositó en capas de 40 cm. utilizando el método de escalonamiento, su compactación se realizó con vibradores de inmersión procurando traslapar el radio de acción (20 cm.) para asegurar una compactación total.

En la compactación del concreto de la losa también se utilizaron vibradores de inmersión inclinándolos de tal forma que toda su cabeza se mantuviera dentro de la mezcla y así obtener una buena compactación, la superficie de ésta se terminó con un acabado rugoso para una buena adherencia de la carpeta asfáltica.

Respecto a la colocación y compactación del concreto en los aleros, el concreto se coló iniciando en la parte baja avanzando hacia arriba para evitar la descompactación; durante el colado de la parte superior del tablero, se elaboraron 40 cilindros de control para ser ensayados a compresión a los 3 y 14 días, los resultados de estos ensayos se muestran en las tablas 7 y 8.

Sin duda uno de los equipos que más ayudó en estos colados de concreto, fueron las bombas-pluma para concreto, ya que redujeron el tiempo de colado y el número de trabajadores necesarios para este fin, con el consiguiente ahorro de horas - hombre.

Doce horas después del colado, se comenzó el curado del concreto, utilizando para ello agua aplicada en riegos.

3.3 Presfuerzo.

El objetivo principal del presforzar el tablero, es el de someter al concreto a una compresión longitudinal, que contrarreste las tensiones en este provocadas por las cargas; esto ocurre debido a que los cables al estar tensados en forma curva dentro del elemento crean fuerzas con componente en dirección vertical anulando las tensiones y haciendo trabajar la sección completa a compresión

3.3.1 Colocación de cables.

Al recibir en la obra los torones de acero, se verificó que cumplieran con las especificaciones de proyecto, particularmente que estos fueran Grado 270K de baja relajación

Características del acero.

Número de cables en cada nervadura	2
Número de torones por cada cable	12
Número de hilos por cada toron	7
Diámetro de cada toron	1 52 cm
Area neta de cada cable	16 8 cm ² .
Tensión media en operación	175 ton
Coefficiente de fricción por desarrollo lineal	0 006/m
Coefficiente de fricción por curvatura	0 02/rad

El cable se desenrolla de un gran carrete hasta obtener la longitud del tablero más 50 cm de cada lado, posteriormente se cortan con una esmentadora, (lo cual no afecta las propiedades del cable) utilizando un disco de corte para acero, para este proceso es necesario que el personal utilice el equipo de seguridad como son: casco, guantes y lentes de protección

Los cables se colocaron momentos antes de realizar el tensado, ya que el mantener los cables durante mucho tiempo dentro del ducto sin una buena protección contra la corrosión puede ser perjudicial para estos.

En todos los ductos de las nervaduras, se insertó el mismo tipo de cable formado por 12 torones, y a su vez cada toron por 7 hilos de alambre; antes de insertarlos, se les aplicó polvo VPI (Vapor Phase Inhibitor) que ataca al vapor evitando así su corrosión.

Los torones se amarraron paralelamente con alambre antes de insertarlos en el ducto, ya que de no hacerlo se podían presentar interferencias entre ellos durante el tensado.

3.3.2 Tensado de cables.

Esta etapa se realizó 14 días después de colado el tablero, calculando que el concreto ya había adquirido una resistencia a la compresión cercana al 100 %, por esta razón se le conoce como postensado.

Idealmente los 24 cables del tablero deberían ser tensados simultáneamente; pero, si tomamos en cuenta la cantidad de gatos hidráulicos y personal que requería esta operación, resultaba casi imposible y antieconómico; por lo tanto, fue necesario seleccionar una secuencia balanceada que evitara en lo posible el sobre esfuerzo y los agrietamientos utilizando únicamente 4 gatos para el tensado de todo el tablero.

El tensado se realizó en dos etapas con el objeto de compensar las pérdidas debidas al acortamiento elástico y evitar el sobre esfuerzo temporal. Para ello se utilizó un equipo de tensado que se adaptará a este tipo de prefuerzo, como se muestra en la figura 3.3.1. Este se aplicó simultáneamente por ambos extremos de cada cable y en el orden que se indica en la figura 3.3.2.

Se recomienda aplicar el esfuerzo de tensión por ambos extremos en todos los cables que tengan doble curvatura y en los cables de curvatura simple con longitud mayor a 24 mts.

El tensar los cables por ambos extremos redujo considerablemente la fuerza de tensión debido a la distribución de las pérdidas por fricción entre el cable y el ducto, para tensar los cables adecuadamente se requirió del siguiente equipo

Equipo para prestuerzo.

- 1 planta de energía eléctrica
- 4 gatos hidráulicos
- 2 bombas de carga
- 4 poleas con cadena

Antes de iniciar el tensado de cables, se realizó un levantamiento topográfico para conocer la elevación del tablero al centro del claro y así poder medir la contra flecha producida.

Fases del tensado de cables.

1. Colocación del "queso" (cruzando todos los torones del cable).
2. Colocación de las cuñas en todos los torones
3. Colocación del gato hidráulico sobre el anclaje.
4. Fijación de cada toron al gato.
5. Tensión del cable
6. Enclavamiento automático de la cuña de anclaje.
7. Desbloqueo de los torones y recuperación del gato.

Durante la aplicación de la carga, se verificó constantemente que el alargamiento real de cada cable coincidiera con el teórico, esto se llevó a cabo midiendo físicamente con una regla los extremos de los cables, también mediante las lecturas del medidor de presión del gato, ya que de encontrarse una diferencia entre estos mayor al 5 % debía detenerse el tensado para determinar la causa y hacer las correcciones necesarias.

En este caso se tenía programado un alargamiento total de 23.00 cm. con una fuerza de tensión de 223 ton. (465 bars), pero al llegar a 215 ton. (435 bars), los cables

registraban un alargamiento promedio de 24.2 cm. deteniendo en ese momento la aplicación de la carga en el cable.

En la primera etapa de presfuerzo se aplicó una fuerza de tensión hasta el 70 % y en la segunda se llevó hasta el 100%.

Presfuerzo en cada nervadura.

Fuerza de tensión aplicada a cada cable.	223 ton.
Alargamiento del cable en cada extremo.	11.50 cm.
Presfuerzo en operación.	350 ton.
Número de anclajes en cada extremo	2

Durante el presfuerzo, un aspecto particularmente importante es el cambio en el modelo de carga que soportó la obra falsa, debido a la aplicación del presfuerzo. Un tablero recién colado sin presforzar, impone una carga uniformemente repartida en la cara de contacto de una cimbra y, en consecuencia, en la obra falsa. A medida que la aplicación del presfuerzo prosigue, y el elemento empieza a sostenerse por sí mismo, a lo largo del claro diseñado, ocurre un cambio en el modelo de carga que gradualmente va proporcionando un efecto de carga concentrada sobre sus apoyos.

Es por eso que antes de comenzar con la primera etapa del tensado de cables, se debe bajar unos 5 mm. la cimbra del lado de los dos apoyos, para evitar así una sobre carga en las torres tubulares que están cercanas a los apoyos.

3.4 Relleno en ductos.

Transcurridas 24 horas después de la aplicación del presfuerzo se procedió a realizar el relleno de los ductos, ya que no deben transcurrir más de 48 horas entre el tensado de los cables y el relleno de los ductos

El relleno con lechada de cemento, es ideal para ductos de 3 a 5 pulgadas y tiene como función:

- 1) Confinar el acero en un medio ambiente alcalino, protegiéndolo contra la corrosión
- 2) Llenar el ducto para que el agua no entre posteriormente dentro del mismo
- 3) Asegurar la adherencia necesaria entre los tendones y el concreto estructural
- 4) Completar la sección transversal del elemento

La técnica del relleno es uno de los pasos más importantes en toda la secuencia de la construcción presforzada, como es compleja y depende de una ejecución hábil y adecuada por parte de los trabajadores, se establecieron algunas reglas y procedimientos para asegurar un buen resultado

Idealmente el relleno debe tapar toda la sección transversal, sin dejar huecos, sin embargo no debe estar sujeta a grandes presiones, pues ocasionaría su expansión y consecuentemente grietas longitudinales en el concreto estructural

Debe ser denso y homogéneo para no dejar huecos a lo largo del acero, debe fluir fácilmente para llenar los intersticios que hay entre los alambres y entre estos y el ducto donde se apoyan, debe tener una alta resistencia a la compresión y a la adherencia; también debe alcanzar lo más pronto posible una alta resistencia y contener una cantidad relativamente grande de cemento.

3.4.1 Materiales.

Lo principal para asegurar un relleno satisfactorio y por consiguiente, el factor de control mas importante es la relación agua cemento, la cual no debe ser mayor a 0,45, aproximadamente 19 litros por cada saco de cemento; el relleno debe mezclarse perfectamente con máquina, para asegurar un mezclado total y obtener un relleno fácil de inyectar.

El agua que se utilice para las mezclas de relleno, deben tener ciertas restricciones mayores que para las mezclas de concreto, como su contenido de sal, polvos y materia orgánica, las limitaciones son las siguientes:

- a) No contener impurezas que modifiquen en mas de un 25 % el tiempo de fraguado, ni una reducción en la resistencia a los 14 días, mayor de un 5 %, ambos porcentajes deben compararse con los resultados obtenidos en muestras elaboradas con agua destilada
- b) Contener menos de 650 p p m de iones de cloruro.
- c) Contener menos de 1300 p p m de iones de sulfato
- d) No debe contener aceite

Solo puede obtenerse un relleno adecuado cuando todo el sistema está libre de agujeros o juntas que pudieran permitir la fuga de la mezcla a través de los ductos.

Los materiales, mezclas y procedimientos de inyección deben seleccionarse de manera que el escurrimiento sea el mínimo después de inyectarlo. El escurrimiento se debe a que el peso específico del agua es menor al peso del cemento; por consiguiente, el cemento tiende a sedimentarse y pueden quedar gotas de agua dentro de los ductos. El agua atrapada puede reabsorberse dejando huecos con aire a lo largo de los tendones, lo que tal vez origine un gradiente de oxígeno, y la subsecuente corrosión. En este caso el escurrimiento se limitó al 2 % a 20 °C en 3 horas, con un máximo de 4 % verificando que el agua se reabsorbiera en no mas de 24 horas.

Para permitir el escape de agua y aire al inyectar el relleno, en todos los puntos altos y en la terminación de los extremos del ducto, se colocaron aberturas o ventillas, sellándolas con cinta plástica

Estas ventillas consistieron de manguera de plástico que se colocaron en las curvas verticales del ducto para resistir los momentos negativos, con una capacidad suficiente para almacenar el agua que se desplazara por sedimentación del cemento

El cemento a utilizar puede ser tipo I, II ó III y debe estar libre de terrones, de otra manera habrá serias dificultades

3.4.2 Equipo.

El equipo debe ser capaz de producir un relleno de consistencia uniforme y si es posible coloidal. Primero debe colocarse el agua en la mezcladora y después el cemento; una vez mezclado es necesario agitar continuamente la mezcla

La bomba para relleno debe ser de desplazamiento positivo y producir cuando menos una presión de descarga de 150 lb / pulg² (10.5 Kg /cm²), debe contar con sellos adecuados para evitar la introducción del aceite, aire u otras sustancias extrañas en el relleno y evitar pérdidas de relleno o agua. La presión de bombeo debe regularse para evitar presiones mayores que la mencionada anteriormente, de modo que las fugas se mantengan al mínimo y se eviten daños, para esto es necesario instalar un medidor de presión a la salida de la bomba

3.4.3 Procedimiento.

El relleno debe colarse antes de ser bombeado. La abertura libre de las mallas debe ser de aproximadamente 0.07 pulg. (1.8 mm malla No 14), el relleno debe alimentarla por gravedad a la bomba, ya que de hacerlo por medio de succión existiría una tendencia a meter aire dentro de la mezcla

Antes de realizar el relleno se programó debidamente las proporciones de materiales, el método para mezclarlos y el tiempo de mezclado obteniendo así un relleno que

- a) Fuera fácil de bombear
- b) No fraguara antes del tiempo planeado para el relleno
- c) Adquiriera una buena resistencia final

Antes de comenzar con el relleno, los ductos se enjuagaron con agua con aprox un 1 % de limo, dicho enjuague sirvió para revisar las fugas del sistema tolerando un escurrimiento lento, a continuación se sopletearon los ductos con aire comprimido

Posteriormente se comenzó a inyectar el relleno, comenzando con una presión baja (aprox 40 lb /pulg² ó 2.8 Kg /cm²), aumentándola gradualmente hasta que el relleno saliera por las aberturas o ventilas, una vez que salió el relleno por las ventilas, se procedió a cerrarlas para así gradualmente llegar a la presión de diseño

El flujo óptimo para rellenar un ducto de este tamaño (7.6 cm de diametro), es de 5 a 12 mts/min, prefiriendo las velocidades mas bajas para reducir el numero de huecos

El relleno debe continuarse hasta que la consistencia de la mezcla que sale a través de las aberturas es la misma de la mezcla inyectada sin burbujas de aire o gotas de agua visibles. Según vaya fluyendo el relleno fuera de las aberturas, pueden irse cerrando una tras otra, comenzando por supuesto con la mas cercana al punto de bombeo

Tanto las ventilas como el tubo de inyección se mantuvieron cerrados durante la aplicación de la presión, esto se logró doblando las mangueras de plástico, ya que si se permitía que la presión bajara, se produciría grandes huecos y fugas de agua, los tubos de inyección vienen equipados perfectamente con válvulas mecánicas de cierre. La presión total de inyección, es decir, la carga debe mantenerse constante durante un periodo de 30 seg a un minuto, antes de cerrar el tubo de inyección

Si la presión de relleno excede las 150 lb/pulg² y no puede mantenerse el flujo, esto indicará que existe un bloqueo en el ducto y deberá enjuagarse inmediatamente con agua

Durante todo el procedimiento se llevó a cabo un registro de las mezclas de relleno, tiempos de inyección, cantidad de mezcla y presiones, para verificar así el cumplimiento de las especificaciones en el proyecto ejecutado, estos registros ayudaron a realizar un trabajo rápido y seguro, ya que por medio de este podrían haberse detectado fácilmente los ductos que tuvieran algún problema como fugas, bloqueos, etc

3.5 Banquetas y ménsulas.

Banquetas.

Las banquetas del puente, se terminaron de armar una vez que estaba fraguada la losa superior, parte de su armado ya había quedado ahogado en los estribos y nervaduras externas

Como el proyecto indicaba que se debería de construir un puente lo mas ligero posible, durante su diseño se decidió que las banquetas fueran aligeradas con tres bloques de poliestireno de 20 x 35 cm de sección y a todo lo largo del puente en ambos lados

La cimbra de estas consistió en módulos de madera de dimensiones suficientes para dar el peralte de 25 cm y el ancho 1.50 mts, en el interior de las banquetas se colocaron los bloques de poliestireno como se muestra en la figura 3.2.1

Antes de comenzar el colado, se verifico que todo el acero de refuerzo estuviera perfectamente amarrado y la junta de colado humeda, limpia y libre de materiales extraños

Para el colado de este elemento se utilizo concreto $f'c = 200 \text{ Kg/cm}^2$, con un revenimiento de 10 cm para ser compactado por medio de vibradores de inmersión, verificando que registrara un peso volumétrico de 1900 a 2200 Kg/m^3 en el momento de la entrega. Durante el colado se elaboraron 6 cilindros cuya resistencia a la compresión se muestra en la tabla 9

El curado de este elemento consistio en dos riegos de agua al día, verificando en todo momento que la superficie se notara humeda. Una semana después de su colado, se procedió a martilenarlas para darles su acabado final

Ménsulas.

Después de presforzar el tablero y dejar libre el área donde se colocaron los gatos hidráulicos, se procedió a construir las ménsulas cuya ubicación se muestra en la figura 3 5 1

Las ménsulas se encuentran ubicadas en la cara exterior de los diafragmas colindantes con el pavimento y son los elementos de apoyo para las losas de transición. Su función principal es la de mantener siempre el mismo nivel de la carpeta asfáltica entre la estructura del pavimento y la del puente, de tal forma que si llegaran a presentarse hundimientos diferenciales entre estas dos estructuras nunca se crearía un escalón.

En cada extremo del puente se construyeron 5 ménsulas, es decir una entre cada nervadura, reforzándolas como se indica en la figura 3 5 2. El concreto utilizado (14.5 m³) fue de las mismas características que el empleado en las banquetas.

La consolidación del concreto se realizó con vibradores y su curado consistió en dos negos de agua durante el día, estas se desmbraron 24 horas después de su colado, terminando de esta forma la construcción de los elementos estructurales del tablero.

Por último cabe mencionar que en todas las etapas de la construcción del tablero se llevó un registro gráfico indicando en que zona de la estructura y en que elemento se depositaba el concreto muestreado, marcando en el croquis la zona con la misma identificación de la muestra.

3.6 Parapeto metálico.

El parapeto metálico funciona como barrera de contención y ayuda fundamentalmente a prevenir daños y a reducirlos en caso de algún accidente automovilístico sobre el puente delimitándolo en toda su longitud

Se diseñó para resistir un impacto de magnitud determinada, el cual puede ser producto del choque de un vehículo con este, de tal forma que aunque experimente una gran deformación debe evitar en lo posible que el vehículo caiga al vacío

Los parapetos normalmente se construyen utilizando materiales como el concreto reforzado, acero o una combinación de ambos, buscando siempre que sean eficientes, ligeros y ocupe el menor espacio posible sobre el puente

En este proyecto se utilizó un parapeto totalmente metálico a base de perfiles de acero, ya que este material presenta ventajas como el de ser ligero y brindar una mejor visibilidad lateral, lo cual es de gran importancia ya que como se recordará del proyecto vial al finalizar el cruce por el puente se tiene una intersección. El parapeto se construyó en ambos lados con una altura de 80 cm, dando inicio desde 36.5 mts antes del tablero del puente ya que resultaba peligroso dejar este tramo sin protección debido a la altura del terraplén de acceso

La estructuración de este elemento consistió en postes verticales soldados a placas base ancladas en el alero del puente con una separación de 1.25 mts, utilizando para ello los siguientes perfiles, los cuales se muestran en la figura 3.6.1

- Poste (PT): O R 178 x 76 x 7.8 x 28.4 kg /m.
- Travesaño medio (T-2) O R 152 x 76 x 6.4 x 20.2 kg /m
- Travesaño superior: (T-1) O R 127 x 6.3 x 23.25 kg /m

Los cortes del material se realizaron con soldadura autógena (Oxígeno - Acetileno) y su unión se realizó con soldadura de arco (Electrodo E-70XX).

La soldadura de arco, es la más utilizada en soldaduras de campo, y en rigor recibe el nombre de soldadura de arco "protegido" La palabra "protegido" se refiere al campo gaseoso que rodea al arco y que es generado por el recubrimiento del electrodo. Esta protección es necesaria por dos razones

1. Previene al metal fundido de la oxidación en la atmósfera (y quedar poroso), y evita la absorción de nitrógeno de la atmósfera (lo que puede ocasionar fragilidad y pérdida de ductilidad)
2. Crea estabilidad del arco concentrándolo para una mayor capacidad de penetración

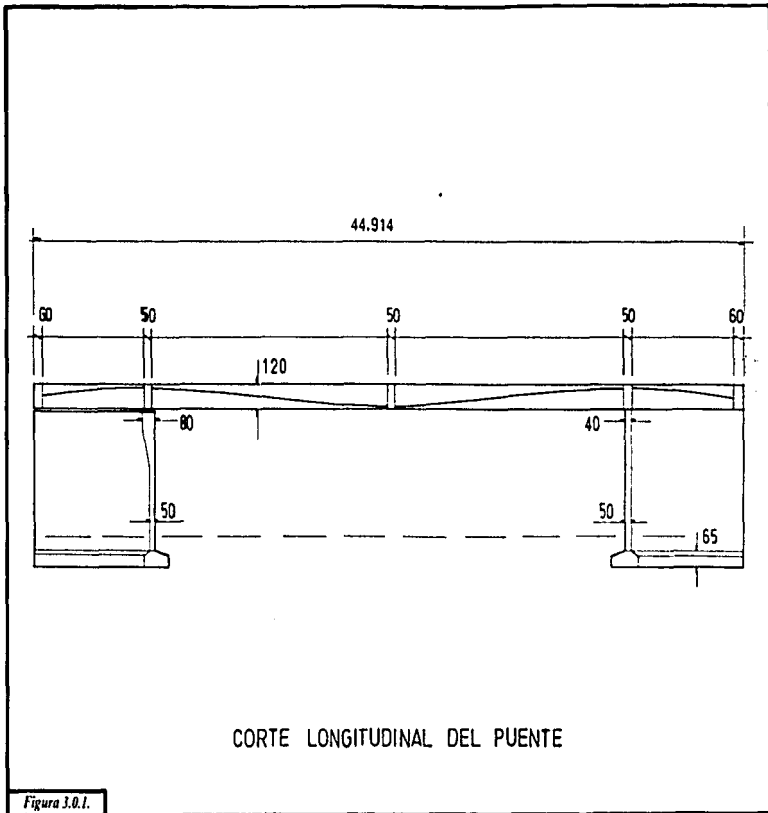
Las placas base de 25 x 15 cm y 1/4 pulg (13 mm) de espesor, quedaron ancladas en el alero del puente, cada placa se construyó con 4 anclas del # 4 en las esquinas y al centro un ángulo L1 102 x 6 y 25 cm de longitud. La superficie de todas las placas base se limpió perfectamente con cuña y cepillo de alambre

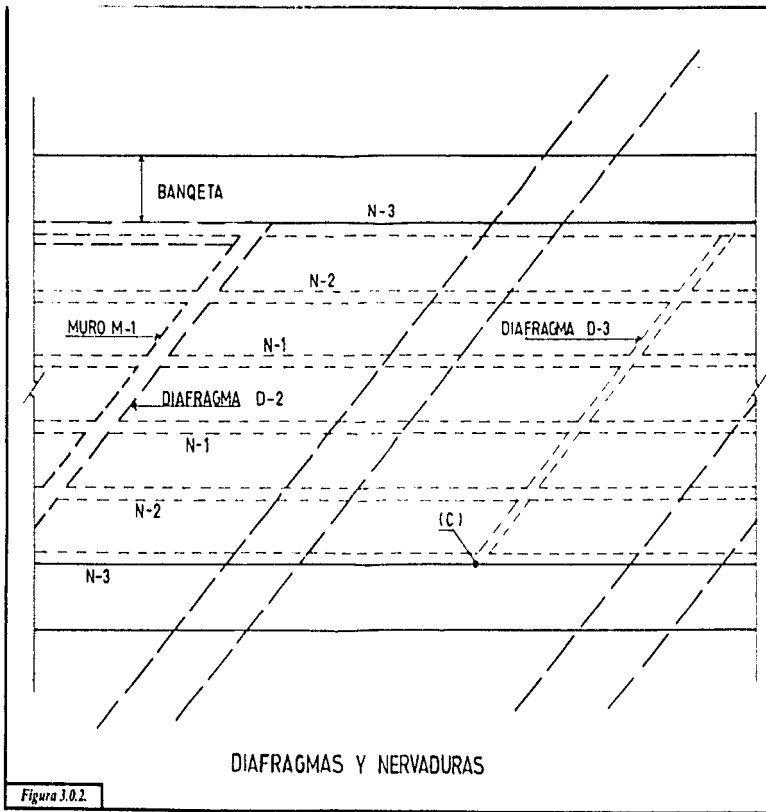
Debido a la curvatura vertical del puente, todo el parapeto fue armado y soldado en su posición definitiva, utilizando para ello niveles de mano e hilos

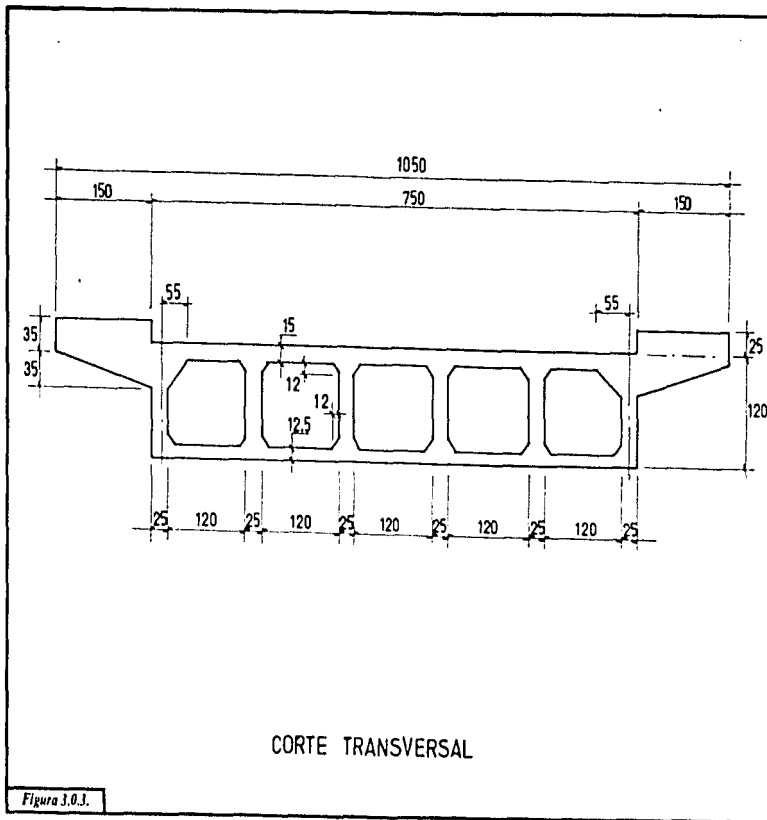
Terminado el parapeto, se comenzó a limpiar toda su superficie mediante un lijado suave, es decir, sin estropear el acabado primario (Dos manos de anticorrosivo color gris), aplicado a los perfiles antes de su colocación

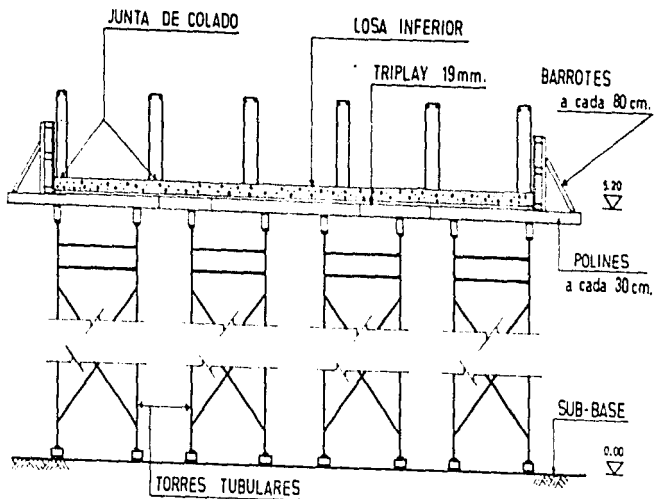
Concluida esta operación, se procedió a dar el acabado final con tres manos de esmalte alquídico ICI Britec color amarillo sol

FIGURAS.
(Capítulo 3)



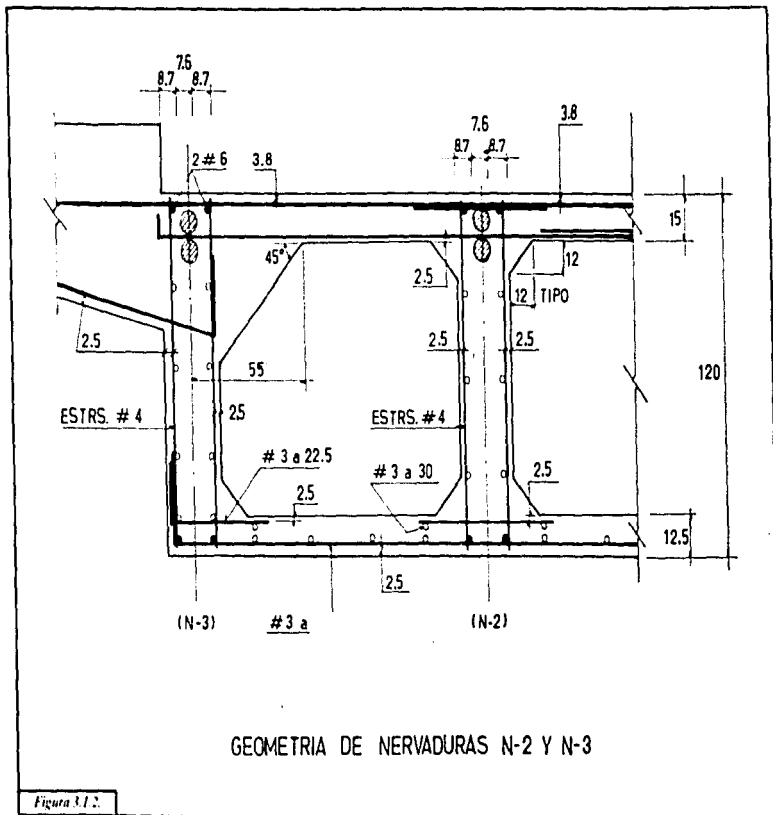






OBRA FALSA Y CIMBRA DEL TABLERO

Figura 3.1.1.



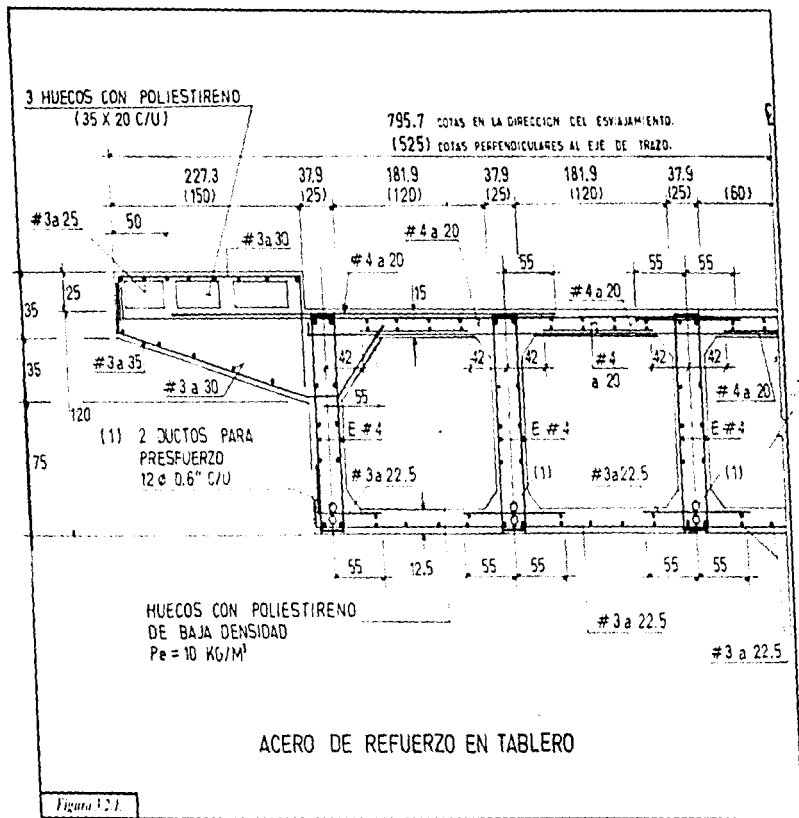
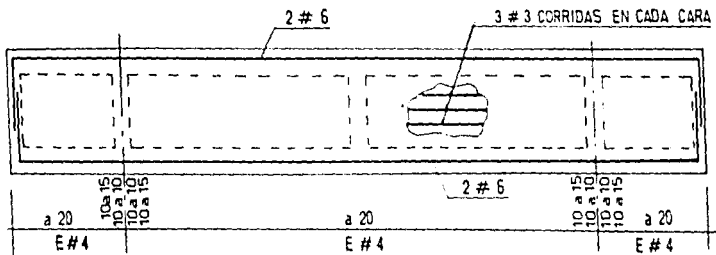
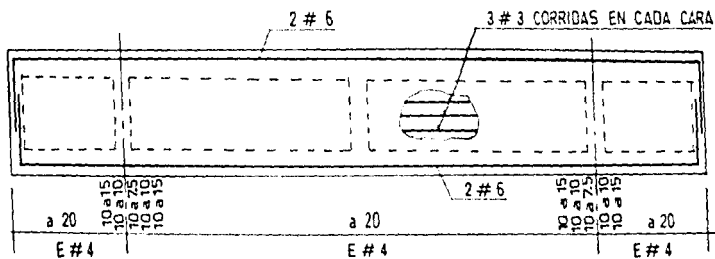


Figura 1.2.1

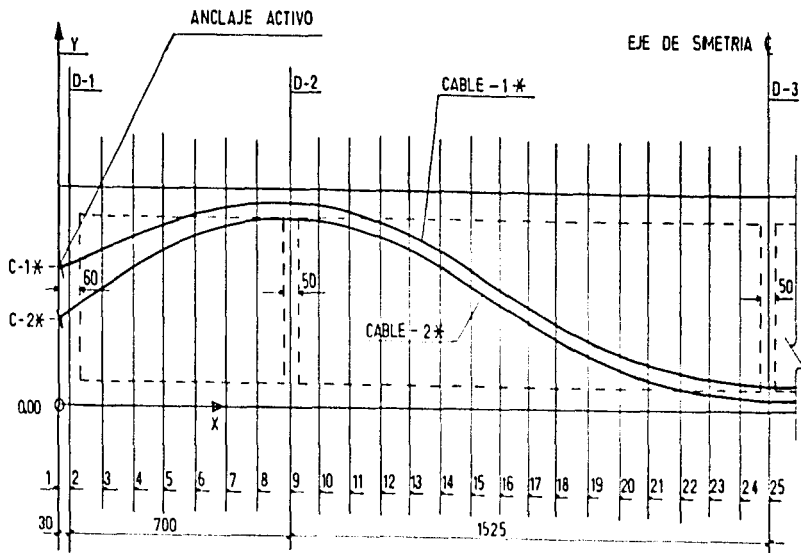


REFUERZO EN N-1 Y N-2



REFUERZO EN N-3

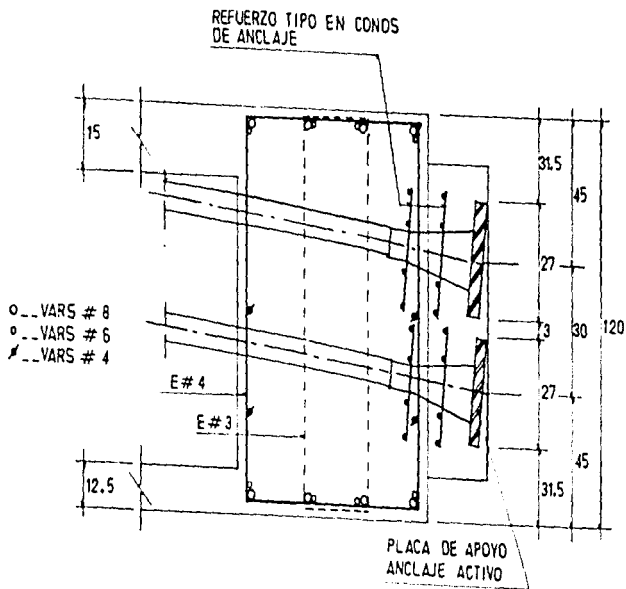
Figura 3.2.2.



* DUCTO CON 12 TORONES
 \varnothing 0.6" C/U

COORDENADAS DEL PRESFUERZO EN NERVADURAS N-1, 2 Y 3

Figura 3.2.3.



BLOQUES DE ANCLAJE EN DIAFRAGMA D-1

Figura 3.2.4.

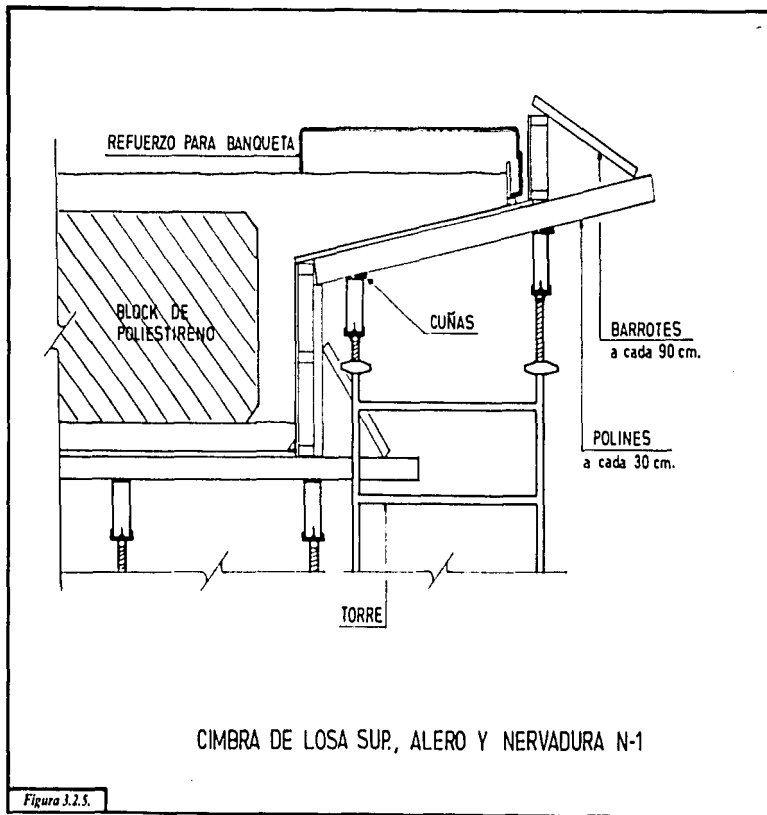


Figura 3.2.5.

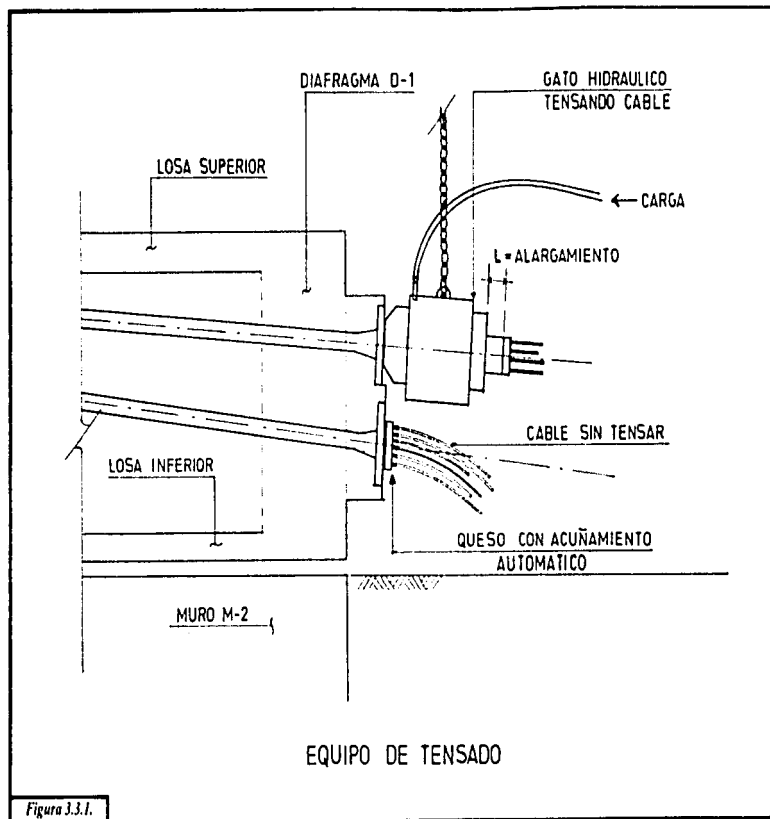
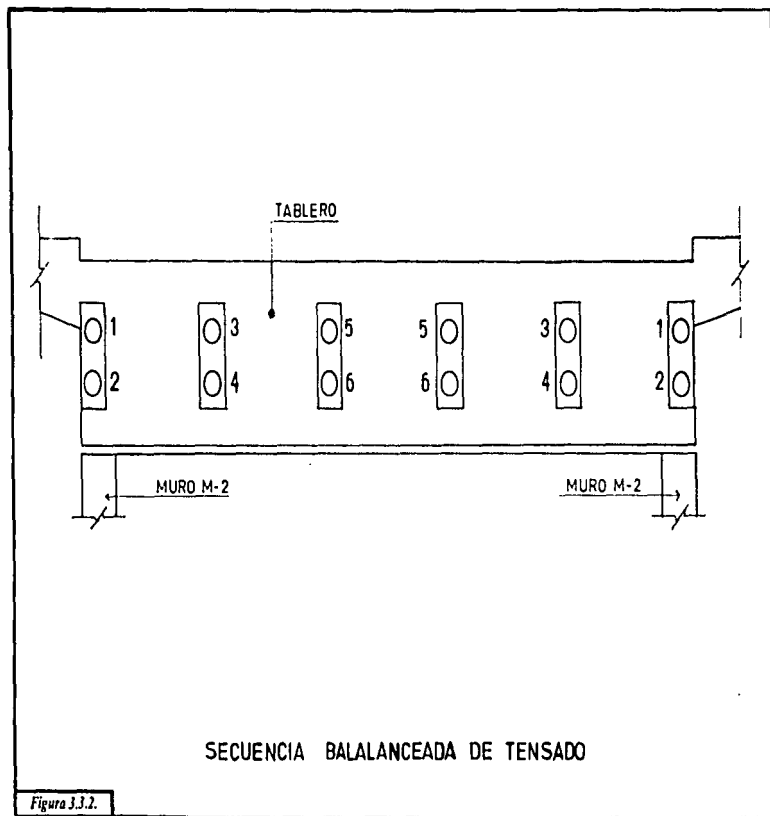
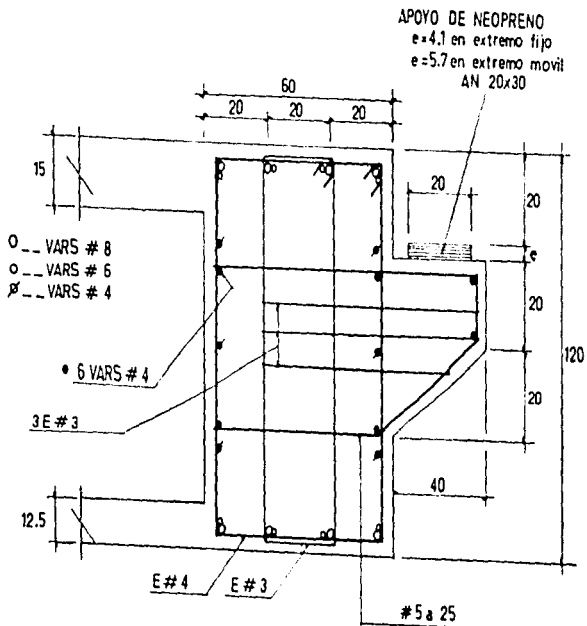


Figura 3.3.1.





MENSULA EN DIAFRAGMA

Figura J.5.2.

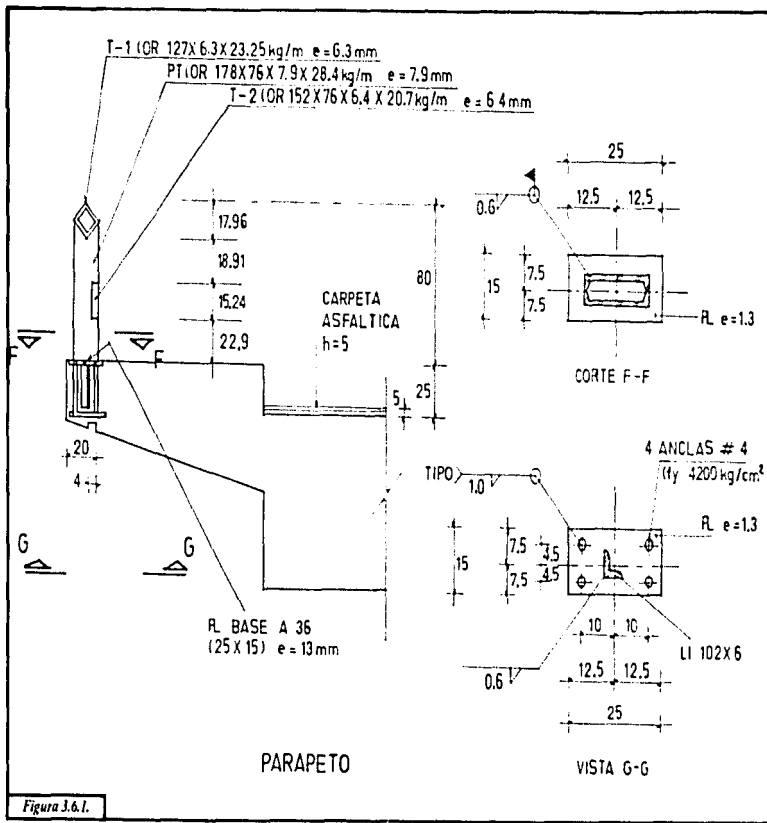


Figura 3.6.1.

CAPITULO 4

Trabajos complementarios

4.1 Losas de transición.

Las losas de transición, también llamadas "losas locas" son de suma importancia, ya que es aquí donde se pasa de una estructura no rígida a una rígida. Y como es de saberse, esto se puede llevar a cabo siempre y cuando existan las preparaciones adecuadas, porque de otra forma, pasar de un estado a otro de manera brusca provocaría serios problemas en las dos estructuras, como grietas y hundimientos ocasionando molestias al tránsito vehicular.

Estas se encuentran localizadas en las capas superiores del pavimento colindante con la estructura del tablero en sus dos extremos, como se indica en la figura 4.1.1. Para apoyar estas losas sobre las mensulas del tablero se colocaron horizontalmente en cada mensula dos placas de neopreno separadas 125 cm las cuales debían tener un espesor de 5.7 cm para el apoyo móvil y 4.1 cm para el apoyo fijo, como se muestran en la figura 4.1.2.

4.1.1 Juntas para losas.

Para asegurar el buen funcionamiento de estas losas, se utilizaron diferentes tipos de juntas. Las juntas suelen denominarse longitudinales o transversales según en el sentido en que están dirigidas dentro del camino, para elaborarlas, se ranura el concreto intencionalmente, pero garantizando la continuidad a ambos lados de la ranura con barras de acero lisas (pasa juntas) o corrugadas (barras de sujeción).

Las juntas que se utilizaron para separar las losas durante su construcción fueron las siguientes y se muestran en las figuras 4.1.3, 4.1.4 y 4.1.5.

1. Juntas de contracción: se construyeron para aliviar los esfuerzos en el acero de refuerzo causados por la contracción del concreto, evitando su destrucción.
2. Juntas de alabeo ó articuladas: estas juntas también conocidas como machiembradas tienen por misión evitar los agrietamientos a lo largo del eje central de los pavimentos.

o en las líneas de unión de las diferentes hileras de las losa que se producirían al elevarse sus bordes cuando la losa este cargada.

- 3 Juntas de transición corresponden a las interrupciones de las operaciones de colado o a un cambio en la composición de los elementos y deben garantizar la continuidad estructural

4.1.2 Construcción.

En cada extremo se colocaron 12 losas, de las cuales 9 fueron de concreto armado y 3 de concreto sin armar de sección variable, todas ellas se ligaron entre sí por medio de barras pasa juntas y de sujeción, las cuales permitirán una relativa flexibilidad

Las losas de concreto armado se construyeron sobre la capa de base, cada una con una longitud de 3 00 mts tanto en la dirección longitudinal como en la transversal del puente, registrando un espesor de 20 cm

Antes de colocar el acero de refuerzo se aplicó un riego con asfalto FR-3 sobre la capa de base

Para construir las losas de concreto sin armar, se procedió a retirar manualmente (pico y pala) los últimos 5 cm de la capa de sub-base en un tramo de 3 00 mts y todo el ancho de la capa, como se muestra en la figura 4 1 6 Estas losas tienen un espesor variable debido a que dan inicio a la obra de transición, dicho espesor varía de los 5 cm hasta los 22 cm

Terminada esta operación, se colocó el acero de refuerzo de cada losa el cual consistía en un armado en el lecho inferior y uno en el superior hecho con varilla del # 4 a cada 40 cm. y una separación de 10 cm. hecha con siletas de varilla # 3

Posteriormente se colocó la cimbra utilizando módulos de triplay reforzado con madera de 2 x 4 pulgadas de sección, a los cuales se les hicieron perforaciones al centro a cada 40 cm de tal manera que pudieran sobresalir los pernos de liga.

Las varillas pasa juntas consistieron en tramos de varilla del # 8 de 40 cm de longitud colocadas sin amarrar entre los lechos de cada losa.

Antes de comenzar el colado se realizaron los riegos de agua correspondientes sobre la superficie de la sub-base y la cimbra. Se utilizó concreto premezclado con un revenimiento de 12.5 cm ya que su compactación sería por medio de varillado. Para su elaboración se utilizó cemento normal y un agregado máximo de ¾ de pulgadas.

Estas losas se construyeron alternando su colado, consiguiendo así su individualidad. Posteriormente se les aplicó curacreto para evitar la pérdida de agua y al siguiente día se retiró la cimbra.

4.2 Juntas de calzada.

Esta juntas se colocaron en las fronteras del tablero con las losas de transición. Su función es darle una continuidad a la carpeta asfáltica y proporcionar una superficie de rodamiento suave entre las dos estructuras, además sirve como elemento de sello evitando daños a la estructura causados por agentes externos que llegaran a filtrarse como el agua, los aceites, los productos químicos derramados accidentalmente, etc.

Para su elección se tomaron muy en cuenta los movimientos relativos en los espacios de la junta y el tipo de apoyo del tablero, la evaluación de estos movimientos se realizó en función de parámetros específicos a los que estará sometida la estructura

Junta de borde.

En la frontera sur del tablero, se construyó una junta de borde utilizando capas de Celotex, este material puede absorber fácilmente el desplazamiento calculado en este punto

Estas capas se colocaron en posición vertical entre el diafragma exterior y las losas, dejando 3 cm cimbrados con triplay de $\frac{1}{4}$ " (6mm) de espesor. Una vez fraguadas las losas, se procedió a retirar dicha cimbra y rellenar ese hueco con asfalto, la carpeta asfáltica de 5 cm de espesor se colocó posteriormente quedando esta junta invisible, como se muestra en la figura 4 2 1

Junta de expansión

En la frontera norte se colocó una junta de expansión o dilatación tipo Maurer, la cual debe absorber el mayor desplazamiento longitudinal del tablero (16 mm), provocado principalmente por los cambios volumétricos que sufre el concreto debido a las variaciones de la temperatura ambiental.

La junta tipo Maurer modelo integral, consiste en un perfil de hule de sección continua vulcanizado a dos placas de anclaje metálicas. La firmeza de la junta se obtiene transversalmente mediante la continuidad completa de la envolvente del elastómero, y longitudinalmente mediante extremidades coincidentes.

Para su colocación se dejó una ranura en las losas de transición que hacen frontera con el tablero, y en el tablero se realizó una ranura paralela a esta, exactamente en todo el borde de la viga diafragma extrema del apoyo libre, posteriormente se relleno esta ranura con arena y grava suelta con el objeto de evitar que penetrara el concreto asfáltico de la carpeta

Terminada de colocar la carpeta asfáltica, se ranuró y se retiro el material de relleno hasta descubrir perfectamente el acero de refuerzo y la superficie rugosa del concreto. Posteriormente se procedió a colocar la junta, soldándola al acero de refuerzo adicional, por último se coló dicho refuerzo quedando la superficie al nivel de la carpeta, como se muestra en la figura 4 2 2

4.3 Drenaje.

Como es de saberse los trabajos complementarios que refuerzan el proyecto son determinantes para su buena operación

Para permitir que el agua que cae directamente sobre la carretera, escurra hacia uno o ambos lados, se le da una pendiente transversal denominada bombeo, en las secciones en tangente es común que el bombeo se disponga con un 2 % de pendiente desde el eje del camino hasta el hombro correspondiente, en las curvas el bombeo se superpone con la sobre elevación necesaria, de tal manera que la pendiente transversal domina rápidamente sin discontinuidades desde el hombro mas elevado al mas bajo

Para recibir estos escurrimientos y conducirlos hasta el terreno natural, se utilizaron bordillos y cunetas

Los bordillos son pequeños bordes que se colocan en el lado exterior del acotamiento formando una barrera que conduce el agua hacia los lavaderos, evitando la erosión del talud ademas de la saturación de este. El bordillo utilizado fue de sección trapecial y de concreto hidráulico con una $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$. Para su construcción se utilizó cimbra de madera colados en el lugar y a cada 6 mts se colocó un bordillo de anclaje y a cada 12 mts una junta de expansión

Las cunetas son canales que se construyen en los extremos del acotamiento, en contacto inmediato con el corte, lo que permite recibir los escurrimientos de origen pluvial propios del talud y de la propia corona del camino

Para recaudar el agua de los bordillos y las cunetas, se construyeron lavaderos, estos son canales que bajan transversalmente por los taludes, con la misión de conducir esta agua de lluvia hasta lugares alejados del terraplén donde sea inofensiva

Para evitar el congestionamiento de las cunetas ocasionado por el agua de lluvia y su material de arrastre, se construyó una contracuneta con la finalidad de interceptar el

agua superficial que escurre ladera abajo desde mayores alturas en el lado norte del distribuidor vial, conduciendola así hasta una alcantarilla que cruza el camino y posteriormente a un cause natural

Para su construcción se excavó en el terreno natural formando una sección trapezoidal sin revestimiento de 60 cm de plantilla y 40 cm de profundidad, la excavación se llevó a cabo con una retroexcavadora y el material producto de la excavación se colocó sobre un despalme a un metro aproximadamente aguas abajo formando un pequeño bordo

Por lo que respecta al drenaje de la vialidad inferior, este consistió en la colocación de coladeras de acera a nivel a todo lo largo del lado interno de la curva

Estas coladeras tienen la función de recolectar y canalizar las aguas pluviales al sistema de drenaje formado por tuberías de albañal y concreto. Cada una se colocó a una distancia de 20.00 mts sumando un total de ocho coladeras

Todas las coladeras se unieron entre sí por medio de una tubería de albañal de 20 cm de diámetro, descargando el agua en un registro de 1.40 x 1.40 mts, del cual saldría una alcantarilla formada por tubos de 91 cm de diámetro de concreto reforzado que llevaría el agua hasta el terreno natural, como se muestra en la figura 4.3.1

Los registros consistieron de un firme de concreto simple de 0.10 mts de espesor y 1.90 mts por lado, sobre este firme, se construyeron los muros de tabique rojo recocido, junteado con mortero tipo 3, haciendo un traslape en las esquinas

Durante la excavación de la zanja para la tubería de 91 cm se verificó constantemente su profundidad ya que como se sabe en los drenajes el agua corre por acción de la gravedad, por ello el control vertical es más importante que el horizontal

Dicha excavación se realizó con equipo mecánico empleando una retroexcavadora (mano de chango) con cucharón de 0.25 m³ de capacidad obteniendo así un buen

ESTÁ LEYENDO
SALIR DE LA BIBLIOTECA

rendimiento Esta maquinaria se seleccionó en base al material por excavar y las dimensiones de la zanja

Al finalizar la excavación con el equipo mecánico, se procedió a retirar manualmente (pico y pala) el material que vistosamente sobresaliera del fondo de la zanja como rocas que pudieran presentar un punto de falla para la tubería

Posteriormente se procedió a colocar en el fondo de la zanja una cama de arena de 20 cm de espesor la cual tiene por objeto proporcionar una superficie uniforme que se amolde fácilmente a la forma del tubo logrando que este se apoye en la mayor superficie posible. Este espesor depende principalmente del diámetro de la tubería

Sobre la cama de arena se colocaron los tubos con la ayuda de la retroexcavadora y estos se alinearon con las referencias ubicadas en madera en la parte superior de la zanja

Alineada perfectamente la tubería tanto horizontal como verticalmente, se procedió al relleno de la zanja desde la base hasta 30 cm por encima del lomo de la tubería, utilizando para ello un material arenoso - limoso (tepalcate), compactándolo en capas de 20 cm de espesor al 95 % de la prueba proctor estándar hasta el nivel de caja de terracería. Para facilitar su compactación, se roció agua en el tendido del material

Terminada la compactación y dada la dimensión de la tubería, se procedió a calafatear por el interior de esta todas las uniones utilizando mortero tipo 1

4.4 Pavimento.

Un pavimento se puede definir como el conjunto de capas de materiales apropiados, comprendidas entre el nivel de las terracerías y el de la superficie de rodamiento, cuyas principales funciones son las de proporcionar una superficie uniforme, resistente a la acción del tránsito, a la del intemperismo y otros agentes perjudiciales.

Existen fundamentalmente dos tipos de pavimento, el flexible y el rígido, en el flexible la superficie de rodamiento se construye a base de concreto asfáltico y en el rígido a base de concreto hidráulico, su elección consiste básicamente en los recursos materiales y económicos que se tengan disponibles para la construcción del pavimento

Basicamente para diseñar un pavimento se necesita conocer por un lado, el tipo de cargas a las que estará sometido, por otro, la resistencia y otras importantes propiedades de los materiales a utilizar o con los que se pretenda construir este, fijando la distancia mínima desde la superficie de rodamiento hasta la parte superior de la capa del camino. En otras palabras comprende fijar los espesores respectivos de la infraestructura y superestructura que deben cubrir al terreno natural

La infraestructura de las carreteras o suelo base puede definirse como la estructura soporte sobre la cual el pavimento y la capa sub-rasante descansan. En los desmontes, el suelo natural que queda por debajo de estas capas usualmente se indica como infraestructura. Cuando esta estructura se construye sobre el terreno natural se le conoce como terraplén y consiste en material aportado de desmontes cercanos del camino de bancos de préstamo

La superestructura comprende las capas que se encuentran por encima de la capa sub-rasante hasta la carpeta de rodamiento.

La modernización de una carretera como es el caso, requirió determinar el volumen de vehículos basándose en su clasificación y la tendencia a su aumento en el tramo de estudio conforme pasa el tiempo. Estos aspectos quedan comprendidos en un

solo término llamado tránsito, y puede definirse como la cantidad y tipo de vehículos que circulan por la vialidad en cuestión, en un tiempo determinado.

Para llevar a cabo el diseño de las terracerías y el pavimento flexible, se requirió de un estudio que presentara las condiciones regionales del terreno, mediante trabajos de campo y ensayos de laboratorio, también se requirió conocer las propiedades de los bancos de materiales los a utilizar

Con el objeto de conocer las propiedades del suelo en la zona de estudio, se realizaron sondeos a cielo abierto, de los que se obtuvieron muestras alteradas, mismas que fueron trasladadas al laboratorio para practicarles las pruebas correspondientes. A dichas muestras se les realizaron las pruebas de granulometría por mallas, límites de consistencia, V R S, peso volumétrico seco suelto, valor relativo de soporte modificado, humedad natural y humedad óptima

Con la suma de ejes equivalentes y calidad de terracerías se efectuó el diseño del pavimento obteniendo los espesores y su grado de compactación que se muestran en la tabla 11, y su geometría en la figura 4 4 1

Para la construcción de las terracerías, que incluye cuerpo de terraplén y capa sub-rasante, se utilizó el material del banco "El Huixmi" cuyo producto cumplió con los requerimientos de calidad respectivos, teniendo que utilizarse con tamaño máximo de 3 pulgadas

En los lugares donde se construyeron terracerías formando terraplén, inicialmente se hizo la limpieza del terreno existente llevando a cabo un corte con un tractor sobre cadenas eliminando el despilme de tierra vegetal, una vez descubierta la superficie se compactó en un espesor mínimo de 20 cm. hasta alcanzar el 90% de acomodo con respecto a su peso volumétrico seco máximo determinado con la prueba proctor estándar.

Se continuó con la construcción de las capas necesarias para formar el cuerpo del terraplén, levantando este hasta el nivel inferior de la capa sub-rasante, utilizando para

este fin el material del banco propuesto, el cual con la ayuda de una motoniveladora se colocó por capas de 30 cm. de espesor, mismas que se compactaron hasta alcanzar el 90 % de su peso volumétrico seco máximo. Previo al tendido del material, es decir, cuando se encontraba en montones se le agregó agua mediante rociado para facilitar su compactación.

Terminado el cuerpo del terraplén, se construyó la capa sub-rasante, utilizando el mismo material, esta capa registró un espesor compacto de 30 cm, llevando su acomodo hasta el 95 % de su peso volumétrico seco máximo (PVSM), determinado con la prueba proctor estándar, en todas las capas se procuró que la humedad del material al momento de tenderse fuera cercana o igual a la óptima.

En los ejes donde el terreno natural presentaba el mismo nivel que la superficie de rodamiento proyectada, se abrió una caja con una profundidad suficiente para alojar la estructura de pavimento propuesta, el material producto de la excavación se utilizó para la construcción de terrapienes, la superficie descubierta llevó el mismo tratamiento que en terraplén y enseguida se construyó la capa sub-rasante.

Estando la capa sub-rasante debidamente terminada, se construyó sobre de esta la capa sub-base. Para la construcción de tal se utilizó el material del banco "Zempoala" ya que en su análisis se obtuvo una calidad aceptable del material que lo integra, el cual se utilizó con un tamaño máximo de 2 pulgadas.

Esta capa tuvo un espesor compacto de 15 cm, y se compactó al 95 % de su peso volumétrico seco máximo determinado con la prueba porter estándar, se procuró también que previo al tendido del material, este contuviera una humedad semejante a la óptima para facilitar su compactación.

Para la construcción de la capa base hidráulica se utilizó el material producto del banco "Sta. Catarina" que cumplió los requisitos en cuanto a calidad del material, este se utilizó con un tamaño máximo de 1 ½ pulgadas.

Sobre la capa de sub-base se construyó la capa de base hidráulica, registrando un espesor de 20 cm compactada al 100% de su peso volumétrico seco máximo determinado con la prueba porter estándar, como en las capas anteriores el material se humedeció previamente al tendido.

Para calcular la cantidad de agua que se emplearía en cada compactación, se multiplicó el volumen a compactar por un factor que involucra el PVSM, la humedad óptima y el grado de compactación

Una vez compactada la capa en cuestión, se le aplicaban 4 riegos al día para su conservación, utilizando para ello 4 lts/m²

Estando la base hidráulica terminada, seca, barrida y sin que la superficie presentara defectos de acabado tales como depresiones o calcificación de partículas, se le dio un riego de impregnación con asfalto de fraguado medio tipo 1 (FM-1) a razón de 1.5 Lts /m² el cual se aplicó con la ayuda de una petrolizadora y a 50° C

Posteriormente sobre la base hidráulica impregnada y exenta de impurezas y materiales extraños, se aplicó un riego de liga con producto asfáltico rebajado de fraguado rápido tipo 3 (FR-3) a razón de 0.5 Lts /m² con una temperatura de 70° C el cual cubrió todo el ancho de la corona.

Los riegos de material asfáltico no deben aplicarse cuando la temperatura ambiental sea menor a 5° C , si hay amenaza de lluvia o la velocidad del viento es tal que impida su aplicación uniforme

Inmediatamente después de aplicado el riego de liga sobre la base hidráulica, se construyó la carpeta asfáltica registrando un espesor de 7 cm. compactos, para este fin se utilizó concreto asfáltico producido en la planta que elabora mezclas en caliente localizada en San Mateo Atlautenco, Estado de México.

Dicho concreto se fabricó con material pétreo de tamaño máximo de ¾ de pulgada y cemento asfáltico No. 6; compactándolo al 95 % de su peso volumétrico máximo

determinado en la prueba Marsahil. Esta capa al igual que el riego de liga se colocó a todo lo ancho de la corona.

El concreto asfáltico se transportó a la obra en camiones volteo con capacidad de 6 y 9 m³ depositándolo en la tolva de la máquina pavimentadora (finisher) la cual extendía el material compactándolo posteriormente con un rodillo de tambor liso vibratorio y por último con un compactador sobre neumáticos. Extendido el material se tomaron registros de su temperatura, siendo esta de aprox. 110° C.

Sobre la carpeta asfáltica compactada, se aplicó un riego de sello para impermeabilizarla agregando además un petreo que proporcionara una superficie antiderrapante, para tal efecto se utilizó el petreo tipo 3-A que se produce en el banco de "Gravas y arenas Jaltepec", ya que por su calidad se recomendaba sobre otros bancos aun mas cercanos.

El riego de sello consistió de un petreo tipo 3-A a razón de 10 Lts/m² y asfalto rebajado de fraguado rápido tipo 3 (FR-3) a razón de 1.2 Lts/m².

Todo proceso de disgregado o cribado que requirió el material pétreo, se realizó en las plantas ubicadas cerca de los bancos de material.

Observaciones.

Para la construcción de las capas de sub-base y base hidráulica, se hizo mención de utilizar otro banco de material como alternativa para abatir costos, sin embargo dicho banco consistía de un petreo de espuma volcánica (tezontle), al cual se le tendría que haber agregado un material areno limoso (tepetate) para corregir su granulometría, esta mezcla tendría que manejarse en proporción 4:1 (respectivamente) como máximo, sin embargo es de hacerse notar que la calidad de las capas mencionadas construidas con este material, resultaría mucho mas modesta en comparación con la que se obtuvo con el material propuesto, además se corría el riesgo, de que la base hidráulica quedara con una textura muy cerrada en la que no penetraría el producto asfáltico del riego de impregnación, esto pudo tener como consecuencia una menor duración del pavimento, ya que se ha demostrado que la falta de penetración del asfalto en el riego de impregnación

es un problema que se manifiesta por regla, y por otra parte la suavidad del material tezonle, lo hacia altamente degradable, por tal motivo fue desechada como alternativa.

4.5 Muros de mampostería, guarniciones y banquetas.

Muros de mampostería.

Estos muros de mampostería se construyeron con la finalidad de contener los empujes de tierra en la parte superior del talud formado por las capas del pavimento, consiguiendo así una menor base del talud y en consecuencia un mayor aprovechamiento del área para la vialidad.

Para el diseño de estos muros se tomó en cuenta la combinación más desfavorable de cargas laterales y verticales debidas al empuje de tierra, al peso propio del muro y a las demás cargas muertas y vivas que tendieran a disminuir el factor de seguridad contra su volteo o deslizamiento.

En su construcción se utilizó piedra brasa con un tamaño máximo de 40 cm, las cuales se unieron con mortero tipo 2 elaborado en obra mediante un mezclado manual. Antes de su colocación, se verificó que estas estuvieran limpias de polvo, húmedas y sin rajaduras.

La base de este muro se colocó sobre una plantilla de material arenoso limoso (tepalcates) compactado al 90 % de su peso volumétrico seco máximo obteniendo así una superficie compacta y uniforme. Las primeras hiladas se construyeron con las piedras de mayor tamaño y las mejores caras se utilizaron en los paramentos, como se muestra en la figura 4.5.1.

En todo momento se verificó que los planos de unión quedaran normales a la fuerza de compresión, los huecos entre las rocas grandes se rellenaron con piedra chica y mortero.

Sobre el muro se construyó una cadena de 30 x 35 cm. de concreto reforzado con 4 varillas del # 4 y estribos a cada 20 cm. en el cual se colaron las placas base para la continuación del parapeto metálico. Dichas placas se amarraron a este acero y se

colocaron a cada 1.25 mts centro a centro, colocando la primera a 25 cm. del límite del muro con el tablero.

La cimbra de esta cadena consistió de módulos de madera de 2.4 mts. de largo amarrados con torones de alambre recocido y separados con madera a cada 50 cm. El concreto utilizado se elaboró en obra con una resistencia calculada $f'c = 150 \text{ Kg/cm}^2$ y un revenimiento de 12 cm. compactándolo por medio de varillado.

Al día siguiente de su colado, se descimbró y se le aplicó curacreto para su curado.

Guarniciones.

Las guarniciones sirven para contener las banquetas y evitar que se deslicen sobre la superficie de rodamiento, a la vez que tienen la función de protegerlas contra la acción del tránsito. Estas brindan un confinamiento a la carpeta asfáltica en las zonas de borde, además tienen una relación con el drenaje, aunque no sea el objetivo principal, canalizan el agua que escurre en la superficie de rodamiento, guiándola hacia salidas especialmente dispuestas como las coladeras.

Es conveniente que las guarniciones no sobresalgan más de 20 cm, ya que de ser relativamente altas pueden constituir un obstáculo psicológico para el tránsito lo que produce un efecto de canalización que reduce el ancho efectivo de la vialidad.

Para la construcción de estos elementos se utilizó concreto con una resistencia a la compresión $f_c = 150 \text{ Kg/cm}^2$ cumpliendo con las características manejadas en las Normas Técnicas Complementarias para diseño y construcción de elementos de concreto. Este se elaboró en planta y transportó a la obra por medio de camiones revoladora. El revenimiento que se manejó en el concreto fue de 8 cm y su compactación se realizó por medio de vibradores de inmersión.

Para su configuración trapecial, se utilizó cimbra deslizante de lámina de acero la cual se fijó y selló de tal manera que evitara fugas de mortero, para lograr una optimización en el uso de la cimbra, se cimbraron tramos de 70 mts lineales aproximadamente que se colaban con la revoltura de un camión de 6 m^3 de capacidad. La cimbra metálica es más fácil de manejar y más durable, además se logra un mejor acabado del concreto.

La forma trapecial se dispuso para darle una mayor resistencia a la sección contra el volteo, y la esbeltez de la sección permite una longitud de empotramiento conveniente, como se muestra en la figura 4.5.2.

Al día siguiente del colado, se procedió a retirar la cimbra y se aplicó curacreto sobre toda la superficie hasta conseguir una película uniforme que ayudará a mantener la humedad permitiendo continuar la reacción del cemento con el agua

Banquetas.

Se construyeron con un ancho de 1.35 mts sobre una capa de mejoramiento formada por material arenoso limoso (tepetate) el cual se compactó, previo humedecimiento del material

Estas banquetas registraron un espesor de 10 cm empleando para su construcción concreto clase 2, con una $f'c = 150 \text{ Kg/cm}^2$

El concreto se diseñó con un revenimiento de 12 cm debido a que su consolidación sería por medio de varillado. Previo al colado, la capa de mejoramiento, se humedeció verificando que no hubiera agua libre superficial (encharcamientos) en el momento de la colocación del concreto

La construcción de la banqueta consistió en dividirla en tableros equidimensionales de 1.35 x 2.00 mts los cuales se colaron individualmente en forma alternada esto con el objeto de evitar las grietas ocasionadas por la contracción del concreto en su etapa de fraguado

La cimbra de confinamiento estuvo constituida por madera de 4 x 2 pulg las cuales se colocaron de tal manera que evitaran fugas de mortero

El concreto se realizó en obra con la ayuda de una revoledora tipo trompo; su transporte al lugar definitivo se realizó mediante botes y su compactación se logró mediante varillado, complementándola con pisón de madera

La protección del concreto contra la pérdida de agua por evaporación, se logró con la aplicación sobre la superficie terminada de una membrana de color rojo (curacreto); el color ayuda para saber donde ya se aplicó y llevar una película uniforme, el color posteriormente desaparece.

Una semana después de su colado se procedió a darle su acabado final por medio de martillado, a todos los trabajadores que realizaron esta labor, se les asignaron goggles.

Cabe mencionar en esta sección, que los bultos de cemento utilizado para la elaboración de morteros y concretos hechos en obra se protegieron contra la humedad evitando de esta manera alteraciones en cuanto a su calidad. Desde su recepción en la obra, se verificó que las bolsas de papel no estuvieran rotas ni presentaran señales de humedad, posteriormente se almacenaron en un cobertizo de madera techado con láminas de acero galvanizado, estibando los bultos en pilas bien juntas de no más de 10 bultos separadas de los muros, las cuales se cubrieron por último con un plástico.

Aunque su almacenamiento fue el adecuado de todas maneras al momento de utilizarlo, se verificó que el cemento no estuviera "fraguado por aire", es decir, que no contuviera porciones parcialmente endurecidas. El fraguado por aire es el resultado de un almacenamiento prolongado o en condiciones de humedad, ocurre cuando la humedad presente en el aire se va filtrando lentamente a través del papel causando una reacción parcial y en consecuencia el cemento puede llegar a perder hasta el 20% de su resistencia al cabo de 4 a 6 semanas.

4.6 Señalización.

La construcción, colocación y ubicación de todas las señales y dispositivos para el control del tránsito se sujetaron a lo dispuesto en el "Manual de Dispositivos para el Control del Tránsito" editado por la SCT. Estas señales se dividen principalmente en señalamientos horizontales y verticales.

El señalamiento horizontal es el conjunto de rayas, flechas, símbolos y letras que se dibujan sobre el pavimento y guarniciones; su función es guiar al tránsito e indicar los riesgos existentes. Para ello se utilizó pintura especial a base de aceite y resinas epóxicas de secado rápido y gran resistencia a la abrasión. Básicamente se emplearon dos colores, blanco y amarillo; el primero se empleó para pintar sobre la carpeta asfáltica líneas continuas, discontinuas y flechas de dirección que son tan importantes en zonas de intersecciones de caminos; su aplicación se realizó con la ayuda de una máquina pintadora de rayas; el segundo se utilizó para las guarniciones y su aplicación se realizó mediante cepillo y brocha obteniendo un buen acabado.

Si la guarnición se pinta adecuadamente, constituye un excelente medio de señalización.

El señalamiento vertical consiste en símbolos y leyendas dibujadas sobre placas o tableros metálicos fijados a postes. Estas se instalaron en las vialidades de todo el distribuidor y en el puente mismo con el propósito de dar las indicaciones correspondientes tanto en lugar y tiempo.

Existen 3 tipos de señales verticales, las preventivas, informativas y restrictivas que organizan los movimientos de los conductores sobre las vialidades y proporcionan la información necesaria para que su desplazamiento sea el adecuado en dicho distribuidor vial.

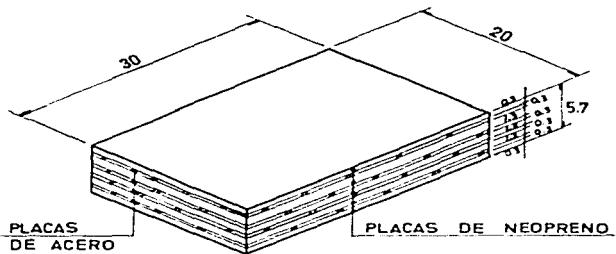
La pintura que se utilizó para cubrir estas placas metálicas, cumplió con los requisitos de calidad, su finalidad es la de proteger la placa contra agentes corrosivos y darle una apariencia específica. Para ello se utilizaron dos tipos de pintura.

- a) **Primaria** Esta pintura se aplicó directamente sobre la superficie base previamente lijada, libre de polvo y grasa, su función es básicamente anticorrosiva.
- b) **De acabado** Esta se aplicó sobre la pintura de tipo primario para una mayor protección anticorrosiva pero principalmente con fines reflejantes.

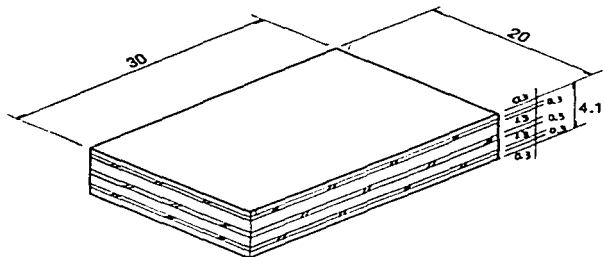
Toda la pintura utilizada en los señalamientos, se le adicionó una cantidad específica de esferas de vidrio cuya función es la de impartirle mayor visibilidad por reflexión de luz. La cantidad de esferas de vidrio que se utilizaron en la película de pintura fueron las siguientes:

- En señales horizontales de 0.38 mm de espesor 700 gr/litro
- En señales verticales de 0.10 mm de espesor 90 % del recubrimiento

FIGURAS.
(Capítulo 4)

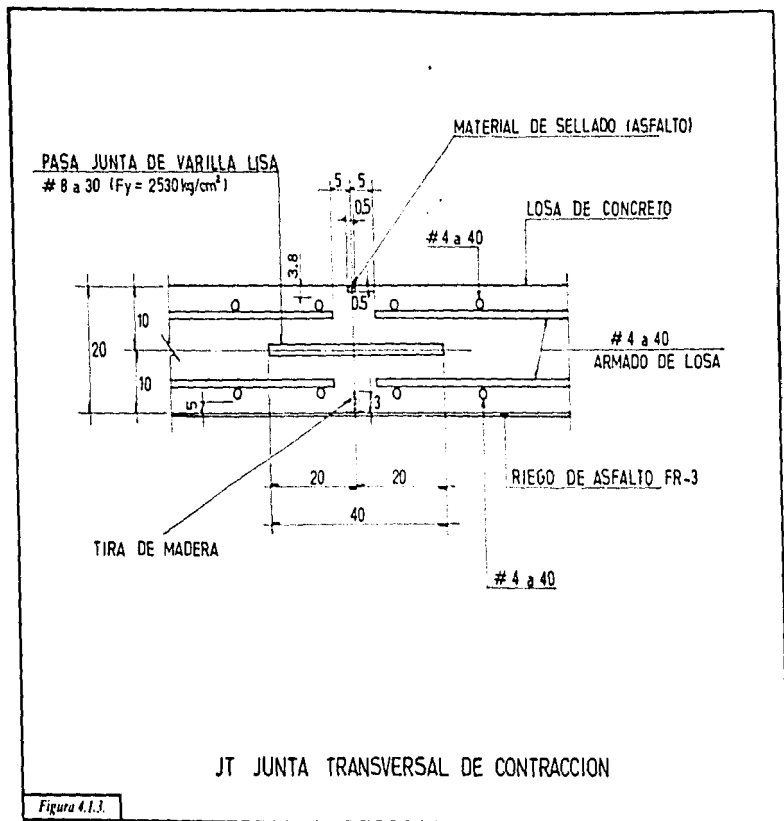


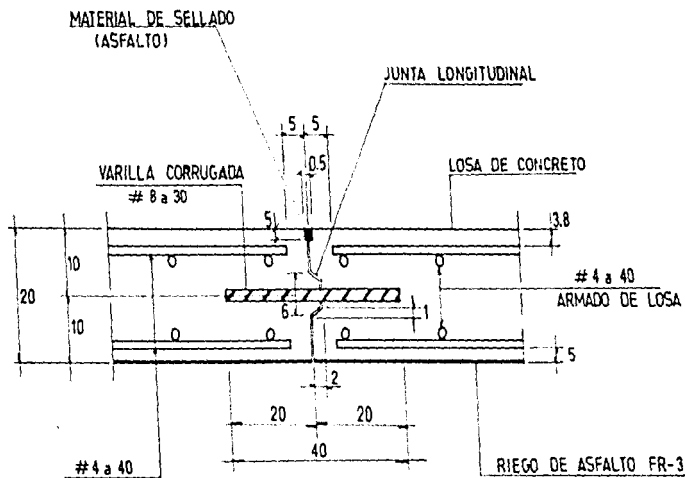
TIPO - 1



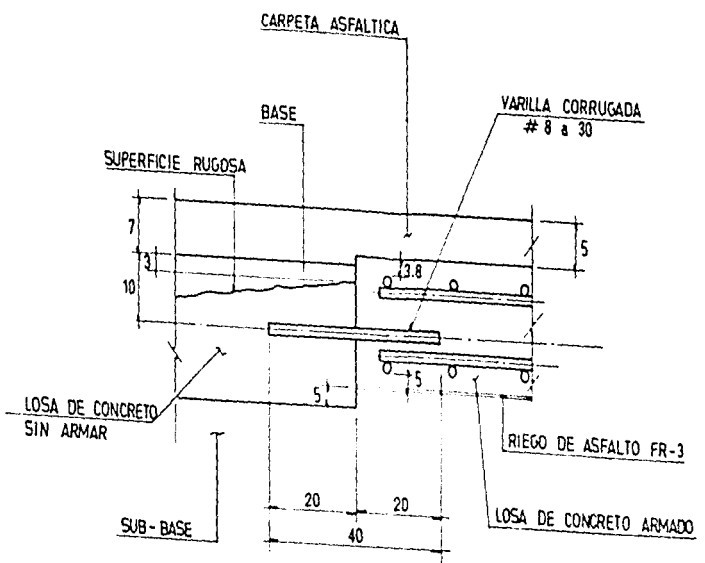
TIPO - 2

APOYOS PARA LOSAS





JL JUNTA LONGITUDINAL MACHIMBRADA



JTT JUNTA TRANSVERSAL DE TRANSICION

Figura 4.1.5.

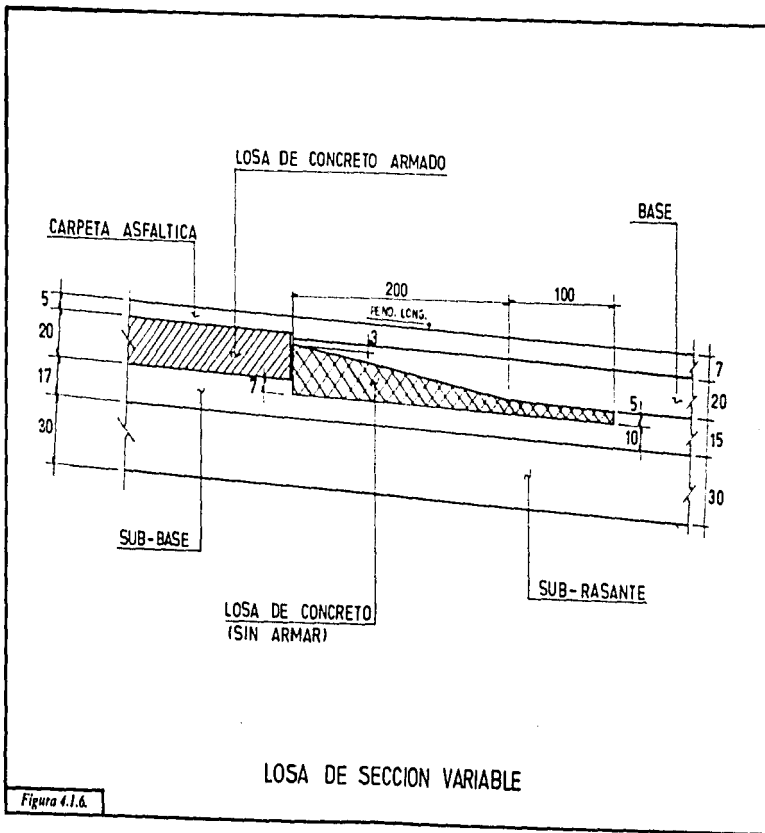


Figura 4.1.6

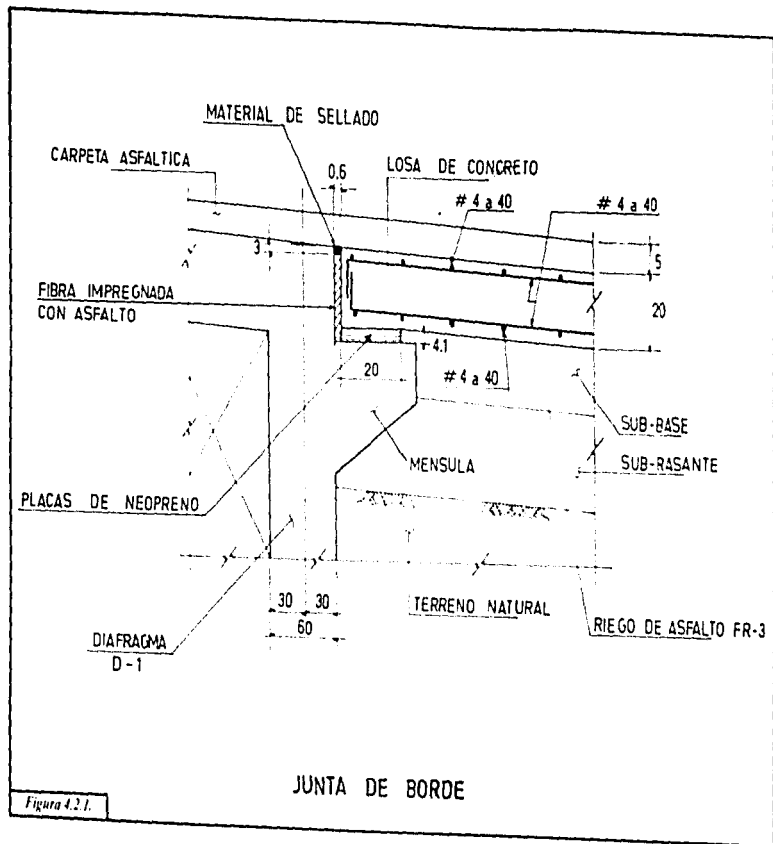
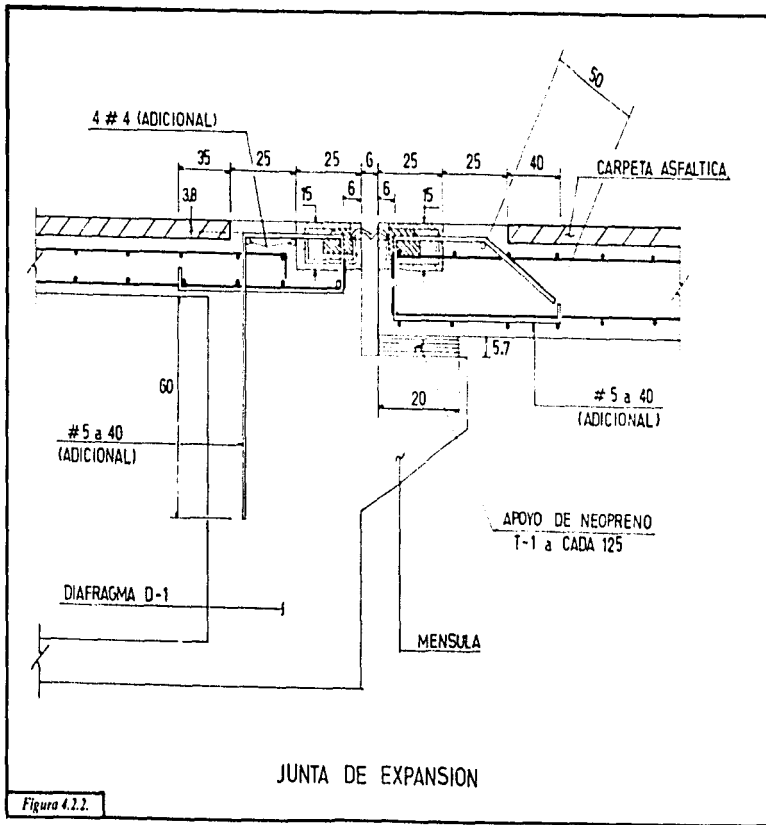


Figura 4.21.



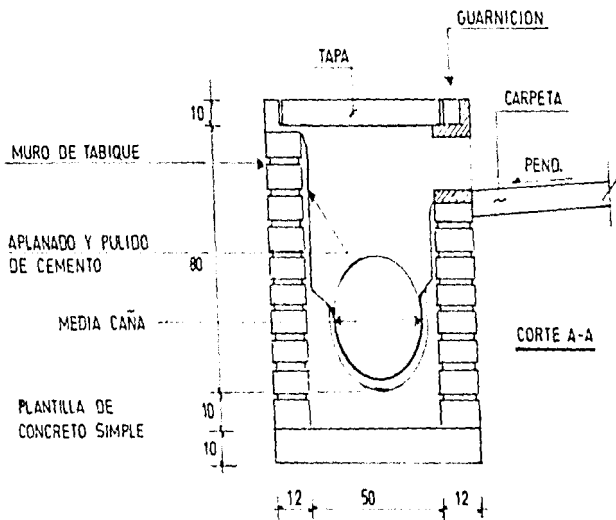
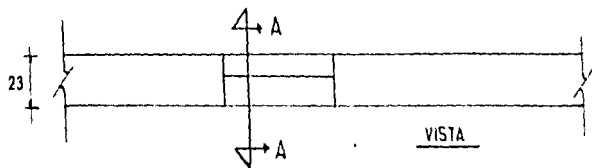
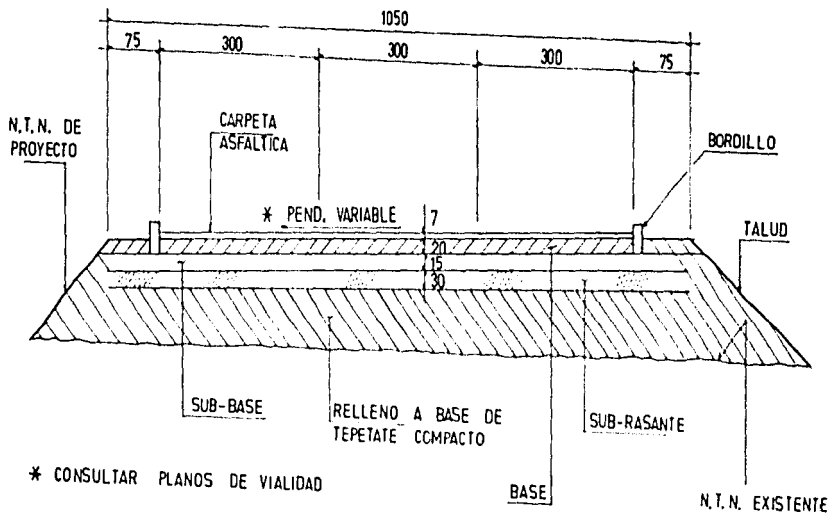


Figura 4.3.1.



PAVIMENTO FLEXIBLE

Figura 4.4.1.

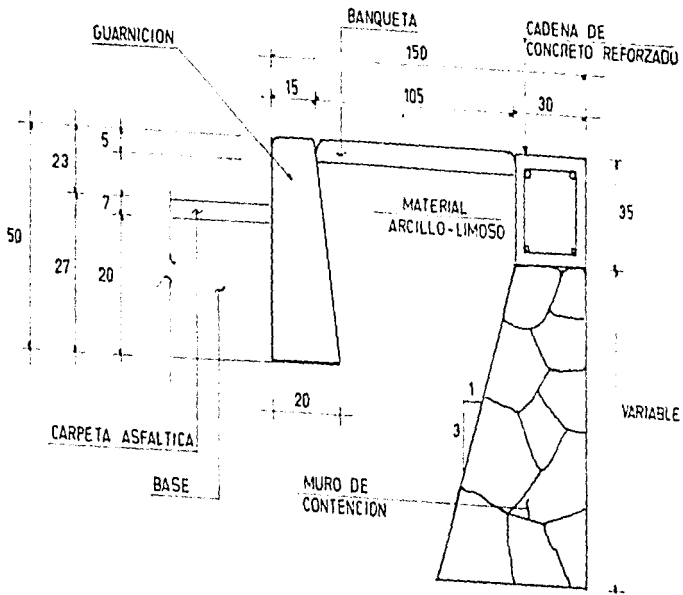


Figura 4.5.1.

Conclusiones y recomendaciones.

El proceso constructivo de puentes con tableros colados "in situ" y postensados, crea numerosas fuentes de empleo, sobre todo porque va de acuerdo con el desarrollo de la mano de obra disponible en varios estados de nuestro país

Por su longitud y peralte, este tipo de puente es ideal para insertarlo en cruces de caminos. El bajo peralte reduce la cantidad de material que se requiere para la construcción del terraplen de acceso y de igual manera el material que se debe recortar para conseguir el galvo vertical especificado

En caso de tener tránsito vehicular en la zona donde se pretenda construir este tipo de puente, debe verificarse que el volumen de tránsito sea pequeño y exista el espacio suficiente para desviarlo mientras permanece la obra falsa

Es muy conveniente el empleo de concreto de resistencia rápida, ya que permite descimbrar el tablero a los catorce días después de su colado con las consecuentes ventajas que esto implica, como es la reducción del gasto en el alquiler de la cimbra y la rapidez con que se pueden reanudar los trabajos de la vialidad inferior

El aditivo superplastificante que se le agregó a la mezcla de concreto fue con el fin de hacerla más trabajable, pero debe entenderse que el empleo de cualquier aditivo es una cuestión que no solo se debe dejar a criterio del constructor, sino que debe seleccionarse desde la etapa de análisis y diseño de la estructura, aprovechando de esta manera todos los beneficios que pueda brindar, como la reducción de las secciones, la velocidad de fraguado, la reducción de la permeabilidad, la contracción del concreto, etc

La geometría del puente permite que tanto la cimbra del tablero como la de los apoyos, pueda ser colocada y retirada con relativa facilidad, lo que nos lleva a darle varios usos más a la madera

Es recomendable que la empresa contratada para la dosificación del concreto tenga experiencia en el proporcionamiento de mezclas de concreto con resistencias mayores a los 300 kg/cm² o de lo contrario las resistencias obtenidas en los cilindros de control tendrán grandes variaciones corriendo el riesgo de quedar hasta por debajo de la resistencia requerida

Es muy importante balancear el presfuerzo, evitando así el sobre esfuerzo en la sección del tablero y en consecuencia los agrietamientos, además durante las etapas de tensado se esté verificando simultáneamente el manómetro de la bomba que suministra la presión al gato de carga, el alargamiento de los cables y la contra flecha al centro del claro

Bibliografía consultada.

- "El concreto en la obra" Tomos 1, 2 y 3.
IMCYC México 1986
- "Práctica recomendable para la medición, mezclado, transporte y colocación del concreto".
IMCYC Editorial Noriega - Limusa
- "Introducción al concreto presforzado".
A. H. Allen IMCYC Editorial Limusa
- "Normas técnicas complementarias para estructuras de concreto".
D.D.F. 1993
- Planos y especificaciones del puente "Distribuidor vial Actópan - Tulancingo".
SEDUCOP Pachuca Hgo
- "Cimbras" Tomos 1, 2, 3 y 4.
J. G. Richardson IMCYC Editorial Limusa.
- "La ingeniería de suelos en las vías terrestres".
Alfonso Rico Rodríguez y Hermilio del Castillo.
Volumen II Editorial Limusa.
- "Métodos, planeamiento y equipos de construcción".
R L Perfoy Editorial Diana.
- "Control de calidad del concreto".
IMCYC Editorial Limusa.

- "Aditivos superfluidificantes para concreto"
IMCYC. Editorial Limusa

**Anexo 1.
(Tablas)**

Tabla 1. Composición vehicular.

Tipo de vehículo (SCT).	Composición vehicular (%).
A2	57 0
B'2	26 0
B2	4 0
C2	6 0
C3	3 0
C4	1 0
T3-S2	1 0
T3-S3	2 0
T3-S2-R4	0 0

Tabla 2. Cilindros de control de la zapata sur.

Elemento Zapata sur						
Concreto f'c = 250 kg/cm ² Resistencia normal						
Revenimiento = 10 cm						
Fecha de colado 28-05-94						
Fecha de ruptura 04-06-94				Edad 7 días		
Muestra No	1	3	5	7	9	11
Rev cm	8 5	8 5	10 0	10 0	10 0	11 0
Resist kg/cm ²	237 7	237 5	240 5	237 4	254 6	257 5
% Resist	95 0	95 0	96 2	95 0	101 8	103 0
Fecha de ruptura 04-06-94				Edad 28 días		
Muestra No	2	4	6	8	10	12
Rev cm	9 0	10 0	11 0	10 5	10 0	11 0
Resist kg/cm ²	284 6	283 7	289 0	287 1	304 3	307 5
% Resist	113 8	113 4	115 6	114 8	121 7	123 0

Tabla 3. Cilindros de control de la zapata norte.

Elemento Zapata norte Concreto $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ Resistencia normal Revenimiento = 10 cm Fecha de colado 31-05-94						
Fecha de ruptura 07-06-94				Edad 7 días		
Muestra No	1	3	5	7	9	11
Rev cm	12	11	10	9	9	11
Resist kg/cm ²	305 6	310 1	295 4	311 2	279 5	278 4
% Resist	122 1	124 1	118 2	124 5	111 8	111 3
Fecha de ruptura 28-06-94				Edad 28 días		
Muestra No	2	4	6	8	10	12
Rev cm	12	11	10	9	9	11
Resist kg/cm ²	318 0	311 2	311 2	328 2	328 2	299 9
% Resist	127 2	124 5	124 5	131 3	131 3	120 0

Tabla 4. Cilindros de control del muro sur.

Elemento Muro sur							
Concreto $f'_c = 250 \text{ kg/cm}^2$ Resistencia normal							
Revenimiento = 12 cm							
Fecha de colado 03-06-94							
Fecha de ruptura 10-06-94				Edad 7 dias			
Muestra No	1	3	5	7	9	11	13
Rev cm	11 5	11 0	10 5	11 0	13 5	12 0	11 0
Resist kg/cm ²	254 7	265 9	258 0	255 8	250 1	215 0	226 4
% Resist	101 9	106 3	103 2	102 3	100 0	86 0	90 5
Fecha de ruptura 01-07-94				Edad 28 dias			
Muestra No	2	4	6	8	10	12	14
Rev cm	11 5	11 0	10 5	11 0	13 5	12 0	11 0
Resist kg/cm ²	301 0	301 0	302 7	304 4	266 5	258 0	265 9
% Resist	120 4	120 4	121 1	121 7	106 6	103 2	106 3

Tabla 5. Cilindros de control del muro norte

Elemento Muro norte								
Concreto $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ Resistencia normal								
Revenimiento 12 cm								
Fecha de colado 10-06-94								
Fecha de ruptura 17-06-94					Edad 7 días			
Muestra No	1	3	5	7	9	11	13	15
Rev Cm	11 5	11 5	12 0	11 0	11 0	11 5	11 0	12 2
Resist. kg/cm^2	253 7	264 9	259 0	256 8	251 1	249 3	247 8	243 6
% Resist	101 48	106 0	103 6	102 7	100 4	99 7	99 1	97 4
Fecha de ruptura 08-07-94					Edad 28 días			
Muestra No	2	4	6	8	10	12	14	16
Rev Cm	10 6	11 0	10 6	12 0	12 0	11 5	10 8	12 0
Resist. kg/cm^2	302 2	318 1	306 2	283 5	256 9	263 7	295 4	283 0
% Resist	120 0	127 2	122 5	113 4	102 8	105 5	118 2	113 2

Tabla 6. Cilindros de control de losa inferior del tablero.

Elemento: Losa inferior					
Concreto f'c= 350 kg/cm ² Resistencia rápida adicionado con Pozzolith 322 N					
Revenimiento 12 cm					
Fecha de colado 30-06-94					
Fecha de ruptura 03-07-94			Edad 3 días		
Muestra No	1	3	5	7	9
Rev. cm	13	10	12	12	13
Resist Kg/cm ²	271.6	296.5	237.6	282.9	232.0
% Resist	77.6	84.7	67.9	80.8	66.3
Fecha de ruptura 14-07-94			Edad 14 días		
Muestra No	2	4	6	8	10
Rev. Cm	13	10	12	12	13
Resist Kg/cm ²	363.3	369.0	338.4	366.7	339.6
% Resist	103.8	105.4	96.7	104.8	97.0

Tabla 7. Cilindros de control de nervaduras, diafragmas, losa superior y aleros, ensayados a los 3 días.

Elemento Nervaduras, diafragmas, losa superior y aleros										
Concreto $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$ Resistencia rápida adicionado con Pozzolith 322-N										
Revenimiento 12 cm										
Fecha de colado 07-07-94										
	Fecha de ruptura 10-07-94					Edad 3 días				
Muestra No	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19
Rev Cm	13 0	14 5	10 0	14 0	10 0	14 0	12 0	13 0	14 5	14 0
Resist kg/cm^2	256 9	297 7	313 5	322 6	323 7	343 4	318 1	322 6	310 1	279 6
% Resist	73 4	85 1	89 6	92 2	92 5	69 5	90 9	92 2	88 6	79 9
Muestra No	21	23	25	27	29	31	33	35	37	39
Rev Cm	13 0	11 0	14 0	13 0	11 0	10 0	11 0	10 0	10 0	13 0
Resist kg/cm^2	300 0	319 2	316 9	302 5	283 0	254 7	311 3	294 3	306 7	266 0
% Resist	85 7	91 2	90 5	86 4	80 8	72 8	88 9	84 1	87 6	76 0

Tabla 8. Cilindros de control de nervaduras, diafragmas, losa superior y aleros, ensayados a los 14 días.

Fecha de ruptura 21-07-94					Edad 14 días					
Muestra No	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Rev. Cm	13 0	14 5	10 0	14 0	10 0	14 0	12 0	13 0	14 5	14 0
Resist kg/cm ²	332 8	342 9	333 9	344 1	358 8	341 8	319 2	344 1	322 6	339 6
% Resist	95 1	98 0	95 4	98 3	102 5	97 7	91 2	98 3	92 2	97 0
Muestra No	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
Rev. Cm	14 0	11 0	13 0	13 0	11 0	10 0	11 0	10 0	10 0	13 0
Resist kg/cm ²	345 2	339 6	328 0	348 6	357 7	369 7	350 9	401 8	335 0	322 0
% Resist	98 6	97 0	93 0	99 6	102 2	105 6	100 3	114 8	95 7	92 0

Tabla 9. Cilindros de control de banquetas sobre el tablero.

Elemento Banquetas			
Concreto $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ Resistencia normal			
Revenimiento = 10 cm			
Fecha de colado 12-07-94			
Fecha de ruptura 19-07-94		Edad 7 dias	
Muestra No	1	3	5
Rev Cm	11.0	10.0	10.0
Resistencia kg/cm^2	258.1	285.2	282.9
% Resist	103.2	114.1	113.2
Fecha de ruptura 10-10-94		Edad 28 dias	
Muestra No	2	4	6
Rev cm	11.0	10.5	10.5
Resistencia kg/cm^2	275.3	297.7	298.2
% Resist	110.1	119.1	119.3

Tabla 10. Coordenadas de los cables dentro de las nervaduras en cm.

Puntos	X	Y	
		Cable1	Cable 2
1	0 0	75 00	45 0
2	30 0	77 9	49 7
3	130 0	86 7	64 0
4	230 0	94 2	76 1
5	330 0	100 3	86 0
6	430 0	105 0	93 6
7	530 0	108 4	99 1
8	630 0	110 4	102 4
9	730 0	111 1	103 5
10	825 5	110 1	102 5
11	920 8	107 3	99 7
12	1016 1	102 4	94 8
13	1111 4	95 7	88 1
14	1206 7	87 0	79 4
15	1302 0	76 3	68 7
16	1397 3	63 8	56 2
17	1492 6	53 6	46 0
18	1587 9	44 6	37 0
19	1683 2	36 8	29 2
20	1778 5	30 2	22 6
21	1873 8	24 8	17 2
22	1969 1	20 6	13 0
23	2064 4	17 6	10 0
24	2159 7	15 8	8 2
25	2255 0	15 2	7 6

Tabla 11. Espesores del pavimento y grado de compactación.

Capa	Espesor (cm)	G C (%)
Carpeta	7 0	95
Base	20 0	100
Sub-base	15 0	95
Sub-rasante	30 0	95

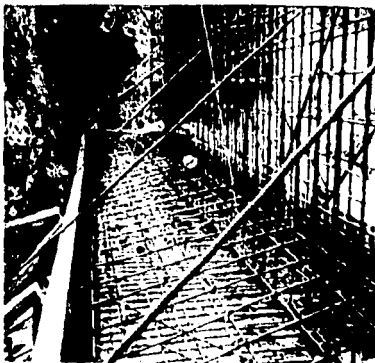
Tabla 12. Volumen de agregado grueso de peso normal por unidad de volumen de concreto.

Tamaño máximo del agregado		Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto para los módulos de finira de la arena indicado			
Pulg	mm	2 40	2 60	2 80	3 00
3/8	9 51	0 50	0 48	0 46	0 44
½	12 7	0 59	0 57	0 55	0 53
¾	19 0	0 68	0 64	0 62	0 60
1	25 4	0 71	0 69	0 67	0 65
1 ½	38 1	0 75	0 73	0 71	0 69
2	50 8	0 78	0 76	0 74	0 72

Anexo 2.
(Fotografías)



1.- Excavación y movimiento de tierras



2.- Armado de zapata y muro.



3.- Cimbra de zapata corrida.



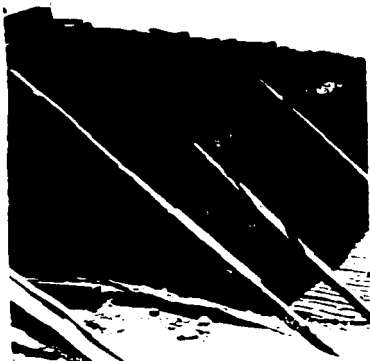
4.- Zapata y cimbra del muro sur.



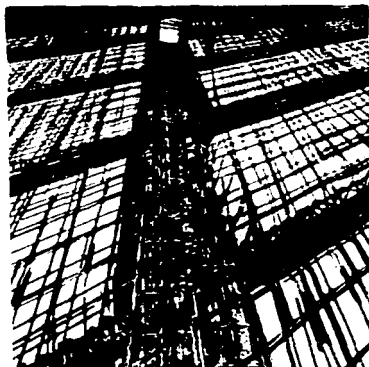
5.-Colado del muro.



6.- Bombeo de concreto.



7.- Cimbra del tablero.



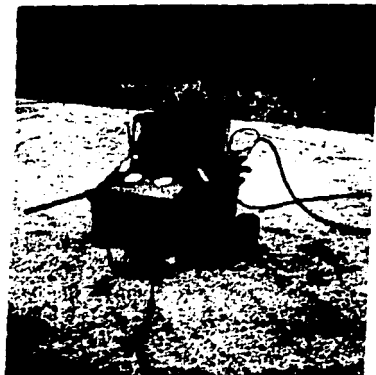
9.- Acero de refuerzo en tablero.



8.- Apoyos de torres.



10.- Gato hidraulico tensando cables.



11.- Bomba de carga.



12.- Anclaje activo.



13.- Equipo para relleno.



14.- Vista del puente.



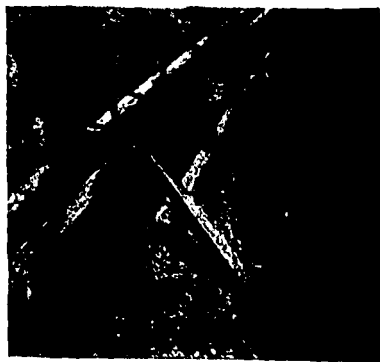
15.- Separación entre el tablero y el muro M-2.



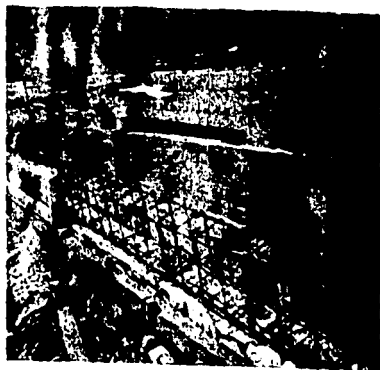
16.- Construcción del terraplén de acceso.



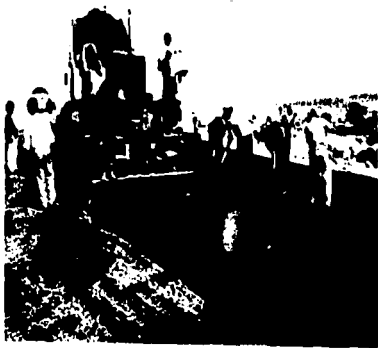
17.- Muro de mamposteria.



18 - Cimbra para guarniciones.



19.- Cadena para anclar el parapeto.



20.- Colocación de carpeta asfáltica.



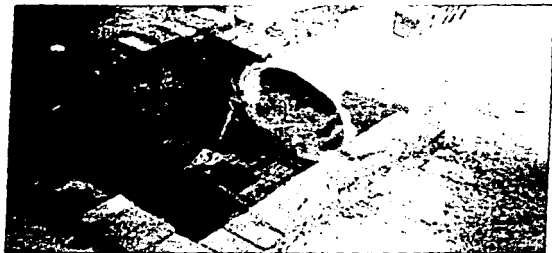
22.- Muestreo en mezcla asfáltica.



21.- Compactación de carpeta asfáltica.



23 Parapeto metálico



24.- Drenaje debajo del puente.