

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

FACULTAD DE CIENCIAS Y HUMANIDADES

PROPUESTA PARA UN CONTROL DE  
CALIDAD EFECTIVO EN LA CONSTRUCCIÓN  
DE PUENTES, TOMANDO COMO EJEMPLO LA  
SEGUNDA FASE DEL PUENTE SAN  
CRISTÓBAL, EN CIUDAD SAN CRISTÓBAL,  
MUNICIPIO DE MIXCO

Trabajo de graduación presentado por  
Guillermo Alfonso Flores Andrade  
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Civil

Guatemala  
2003



**PROPUESTA PARA UN CONTROL DE  
CALIDAD EFECTIVO EN LA CONSTRUCCIÓN  
DE PUENTES, TOMANDO COMO EJEMPLO LA  
SEGUNDA FASE DEL PUENTE SAN  
CRISTÓBAL, EN CIUDAD SAN CRISTÓBAL,  
MUNICIPIO DE MIXCO**

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

FACULTAD DE CIENCIAS Y HUMANIDADES

PROPUESTA PARA UN CONTROL DE  
CALIDAD EFECTIVO EN LA CONSTRUCCIÓN  
DE PUENTES, TOMANDO COMO EJEMPLO LA  
SEGUNDA FASE DEL PUENTE SAN  
CRISTÓBAL, EN CIUDAD SAN CRISTÓBAL,  
MUNICIPIO DE MIXCO

Trabajo de investigación presentado por  
Guillermo Alfonso Flores Andrade  
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Civil

Guatemala  
2003

Vo Bo.



---

Ing. Juan Ramón Urrea Lorenzini

Tribunal Examinador




---

Ing. Franklin Matzdorf Monroy



---

Ing. Juan Ramón Urrea Lorenzini



---

Ing. Francisco Javier Monzón Miralles

Fecha de aprobación de examen de graduación: Guatemala, 23 de octubre de 2003

*DEDICO ESTA TESIS:*

A DIOS

A MIS PADRES:

Dr. Guillermo Alfonso Flores Asturias  
Sra. Ingrid María Andrade de Flores

A LA FACULTAD DE CIENCIAS Y HUMANIDADES Y AL  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD DEL  
VALLE DE GUATEMALA

A MIS MAESTROS Y MENTORES:

Ing. Franklin Matzdorf Monroy  
Ing. Juan Ramón Urrea Lorenzini

# ÍNDICE

DEDICATORIA.....	iv
RESUMEN.....	vi
Capítulos	
I.INTRODUCCIÓN.....	1
II.ANTECEDENTES HISTÓRICOS.....	5
III.OBJETIVOS.....	7
III. JUSTIFICACIÓN Y ALCANCE.....	8
IV. ANTEPROYECTO.....	9
V. EJECUCIÓN DE OBRA.....	12
VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	21
VIII. BIBLIOGRAFÍA.....	22
IX. ANEXOS.....	23

# RESUMEN

Esta tesis se hizo como manera de crear una guía que unifique criterios y normas que proporcionen al ingeniero civil aspectos técnicos y actividades necesarias que permitan realizar proyectos de esta escala e importancia para el desarrollo de infraestructura de la ciudad. También está realizada como una guía para dejar constancia del control de calidad en la ejecución de los mismos, contemplando quedar dentro del marco de las políticas definidas en la estructuración y reforma del sector de vías públicas y/o de carreteras e infraestructura. La elección de un sistema de pilotaje en particular, debe sustentarse en un análisis no solo estructural sino también económico y logístico. Desde el principio del proyecto debe tenerse un criterio estructural bien definido, así como una idea de la situación económica del proyecto que ayude a definir el mismo.

Este puente conecta la carretera CA-1 con la CA-9 por el tramo de San Cristóbal. Aunque con los recursos y el espacio disponibles se ha hecho una gran cantidad de obra para reducir los efectos de los congestionamientos de tránsito, la enorme centralización de los vehículos en la ciudad de Guatemala y su desmedido crecimiento hacen palidecer los logros alcanzados. Por lo que las acciones no deben tomarse como soluciones de fondo, sino que, bajo perspectiva actual, como una suerte de “respiro” para la circulación vehicular mientras se toman decisiones más serias.

## I. INTRODUCCIÓN

### A. LOCALIZACIÓN



Este puente fue construido para conectar la carretera CA-1 que atraviesa la ciudad de oeste a este con la CA-9 que va hacia el sur de la capital sin necesidad de atravesar la ciudad. Pasa sobre el río El Molino, en el boulevard de acceso a Ciudad San Cristóbal desde Mixco hasta la zona 11, ciudad de Guatemala, a la altura de la 35 calle para salir a la Calzada Aguilar Batres.

### B. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Este es un puente de 123 metros de longitud, para cuatro vías. Está formado por dos estructuras completamente independientes que comparten su cimentación.

Hace más o menos treinta años fue ejecutada la primera fase del proyecto al construir la subestructura de los estribos para un puente de cuatro vías, 2 pilas centrales y una armadura metálica con 2 carriles para vehículos. En esa oportunidad, la carga de diseño usada fue para un vehículo tipo H15 – 44 correspondiente a un camión de dos ejes con 6,000 libras en el eje delantero y 24,000 libras de carga en el eje trasero. La estructura metálica fue traída del exterior.

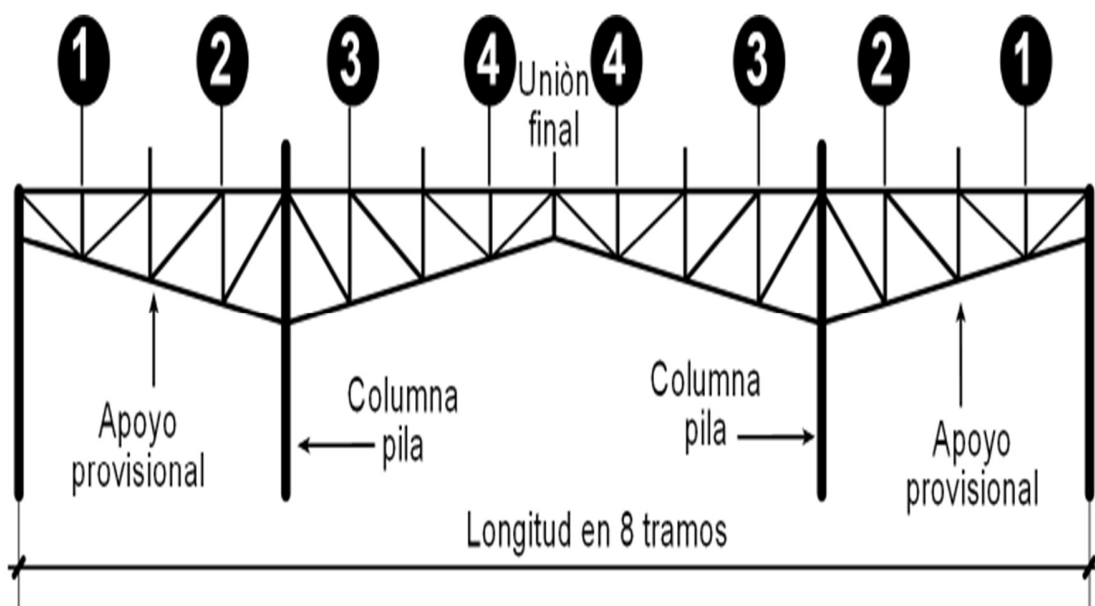
La segunda fase del proyecto se completó en mayo de 1998, al construir las dos pilas y suministrar la armadura metálica faltante, la cual fue diseñada, fabricada y montada totalmente en Guatemala. La carga de diseño fue para un vehículo tipo HS20-44 correspondiente a un camión de 3 ejes con 8,000 libras de carga en el eje delantero y 32,000 libras en cada uno de los otros ejes.

### C. DATOS TÉCNICOS SEGUNDA ETAPA

- Banquetas a ambos lados
- Barandales de metal
- Longitud del puente: 123.00 metros
- Ancho de cada carril: 4.00 metros
- Cimentación: 16 pilotes de concreto reforzado, fundidos en el lugar, de 24.0 metros de profundidad y 1.20 metros de diámetro, vigas de distribución de carga de concreto reforzado.

### D. MONTAJE DE ARMADURA

En ambos extremos del puente a construir se colocaron torres provisionales entre el estribo y la pila, se montó la primera sección de 15.00 metros del puente. Sobre esta sección se colocó en ambos lados una grúa y se montó la columna central en la pila. A la vez se montó la segunda sección de 15.00 metros. La grúa inició el montaje de la siguiente sección de 15.00 metros en voladizo e inmediatamente sobre este voladizo avanzó para montar la cuarta sección de 15.00 metros terminando así el montaje. Todo el montaje se efectuó sin interrumpir el tráfico en el otro puente.



#### 1. CANTIDADES APROXIMADAS DE MATERIALES USADOS EN SEGUNDA ETAPA

ACERO ESTRUCTURAL	900,000 Libras tipo A36
CONCRETO	465 metros <sup>3</sup>
ACERO DE REFUERZO	160,000 libras grado 40
EXCAVACIÓN PILOTES	225 metros <sup>3</sup> a mano

#### 2. SEGUNDA ETAPA COSTO Y TIEMPO DE CONSTRUCCIÓN

COSTO	Q. 8,000,000.00
INICIO	agosto de 1997
TERMINACIÓN	mayo de 1998

#### E. PROFESIONALES QUE INTERVINIERON EN EL PROYECTO

##### 1. ESTUDIO DE SUELOS

a. Ing. Federico Koose S.

##### 2. TOPOGRAFÍA, DISEÑO Y CÁLCULO ESTRUCTURAL

a. Ing. Raúl Aguilar Arrivillaga

##### 3. CONSTRUCCIÓN

a. CONSTRUCTORA AICSA

- 1) Ing. Juan Ramón Urrea Lorenzini
- 2) Ing. Luis Barquín
- 3) Auxiliar en Planta Guillermo Alfonso Flores Andrade

4. SUMINISTRO Y MONTAJE DE ESTRUCTURA ACEROS ARQUITECTÓNICOS

- a. Ing. Julio Rivera

5. SUPERVISIÓN

a. MUNICIPALIDAD DE MIXCO

- 1) Ing. Max Saravia Marroquín

6. CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO

- a. Ing. Aníbal Rodas

## II. ANTECEDENTES HISTÓRICOS

Desde hace ya más de cuatro décadas, la ciudad de Guatemala ha rebasado los límites del municipio, convirtiéndose en un área metropolitana sin una estructura administrativa encargada del desarrollo integral de la ciudad en su conjunto.

El valle está delimitado al este y oeste por montañas de la Sierra Madre, mientras que al norte y sur existen profundos barrancos con ríos que desaguan a los Océanos Atlántico y Pacífico respectivamente. Estas condiciones geográficas han hecho que la ciudad haya crecido en forma de espiral, ocupando paulatinamente las lenguas de tierra plana a partir del casco histórico. También debido a la topografía del terreno, el desarrollo de la ciudad ha sido a lo largo de los pocos corredores radiales, donde, además del centro, se ve concentrada la actividad comercial e industrial. Dos de estos corredores radiales, son carreteras centroamericanas que pasan por la ciudad y que conectan México con El Salvador y los puertos del Atlántico con el Pacífico.

La población del área metropolitana, dependiendo de dónde se delimiten sus fronteras, corresponde a un 20 a 25% de la población del país, es decir unos 2.5 a 3 millones de habitantes. Existe una enorme centralización de todo tipo de actividades en la ciudad capital, hecho que se ve agravado por la falta de polos de desarrollo en el interior de la nación: la población de la segunda ciudad más grande del país es 20 veces menor al de la capital. El crecimiento poblacional es del orden de 3% anual, cifra que se ve aumentada por la migración interna hacia el área metropolitana por personas en búsqueda de mejores oportunidades de trabajo. Una de las áreas que se ha visto afectada por este fenómeno es en el borde entre Mixco y Guatemala.

Los dueños de la finca San Cristóbal decidieron hace 35 años convertirla en una lotificación residencial. Conjuntamente con la municipalidad de Mixco, los dueños de la finca y ejecutores del proyecto decidieron hacer un puente que pasara encima del río El Molino, como uno de los accesos a la lotificación. Se acordó que el costo del puente sería compartido equitativamente entre la municipalidad y los ejecutores del proyecto. Éstos últimos hicieron la primera fase del proyecto, siendo los cimientos completos y uno de los puentes independientes. La segunda fase, que consiste en la construcción del otro puente, quedó a cargo de la municipalidad. Esto se llevó a cabo 30 años más tarde.

Sin embargo, no se contaba con el hecho que la zona no sólo creció como zona residencial sino también como zona industrial y comercial. El tráfico que pasa por ese lugar es muy distinto al que en un principio se pensó que pasaría. Estudios de tráfico que circula por la zona demostraron que los vehículos no son sólo vehículos particulares o buses de transporte urbano, también circulan vehículos de carga pesados. La municipalidad tomó entonces la decisión de rediseñar el puente a construir con las nuevas cargas de diseño.

### III. OBJETIVOS

Los objetivos de esta tesis son:

#### A. Objetivos generales

- Proporcionar al ingeniero civil los aspectos técnicos necesarios que le permitan realizar proyectos de esta escala e importancia para el desarrollo de infraestructura de la ciudad y que maximicen la eficiencia y fluidez del tráfico que sigue creciendo en todo el país.
- Dar una idea de los principales tipos de pilote existentes así como de algunos de los usos de cada uno de ellos.

#### B. Objetivos específicos

- Proporcionar una guía que contenga todas las actividades que deben llevarse a cabo para realizar proyectos como éste en comunidades urbanas.
- Señalar posibles problemas de cimentación donde pilotes son una solución recomendable.
- Proporcionar algunos lineamientos que ayuden a la selección del pilote que se adapte a nuestras necesidades.

#### IV. JUSTIFICACIÓN Y ALCANCE

La importancia de esta tesis es la necesidad de ejecutar y unificar criterios, conceptos y normas para la elaboración de proyectos como éste, así como dejar constancia del control de calidad en la ejecución de los mismos, estando contemplado quedar dentro del marco de las políticas definidas en la estructuración y reforma del sector de vías públicas y/o de carreteras e infraestructura.

## V. ANTEPROYECTO

El propósito de realizar un anteproyecto es analizar algunos parámetros a tomar en cuenta para diseñar un proyecto que dé resultado favorable para el problema que pretende resolver.

### Fundamentos teóricos y técnicos

#### A. Estudio de suelos, topografía y diseño del puente

Para poder tener estructuras de cimientos que sincronicen con su contraparte del otro lado del río en altura y ejes de la carretera, es necesario obtener planos topográficos con curvas a nivel del terreno. Esto estuvo a cargo del Ing. Raúl Aguilar Arrivillaga. A partir de estas curvas (ver anexo) y obtenidos también los resultados del estudio de suelos efectuado por el Ing. Federico Koose, se procedió a hacer el análisis estructural tomando en cuenta los nuevos parámetros de carga para el nuevo diseño de la segunda fase del puente. En este análisis se determinó el tipo de cemento a usar y la geometría general que el puente llevará.

Las dimensiones de las piezas para la armadura metálica, el tipo de juntas y los pernos a usar en ellas se determinaron empleando las normas de diseño AASHTO.

Para carga móvil se usó:

“STANDARD SPECIFICATIONS FOR HIGHWAY BRIDGES”,  
FOURTEENTH EDITION, 1989. AASHTO HS 20-44.

En las normas de fabricación y montaje se usaron:

“STANDARD SPECIFICATIONS FOR HIGHWAY BRIDGES”,  
FOURTEENTH EDITION, 1989. DIVISION II CONSTRUCTION

Las normas para la soldadura fueron tomadas del:

AASHTO SPECIFICATIONS FOR WELDING OF STRUCTURAL  
STEEL HIGHWAY BRIDGES.

Los materiales a usar en la construcción del puente según lo diseñado son:

- Acero estructural: ASTM A36
- Pernos de alta resistencia: ASTM A325
- Soldadura: electrodo E70
- Acero de refuerzo para concreto: grado 40
- Concreto estructural:  $f'_c$  4000 psi

Otras especificaciones de diseño como drenajes otros planos se encuentran en la sección de anexos de este trabajo bajo planos. La lista de planos es la siguiente:

#### TOPOGRAFÍA DEL PUENTE:

1/1 PLANTA – PERFIL

#### PISO DEL PUENTE

½ DETALLES DE LOSA Y BARANDAL

#### GEOMETRÍA DEL PUENTE

2/2 NUDOS

#### ESTRUCTURA DEL PUENTE

01/14 MIEMBROS

02/14 DETALLE DE MIEMBROS

03/14 DETALLE DE NUDOS

04/14 DETALLE DE NUDOS

05/14 DETALLE DE NUDOS

06/14 DETALLE DE NUDOS

07/14 DETALLE DE NUDOS

08/14 DETALLE DE NUDOS

09/14 DETALLE DE NUDOS

10/14 DETALLE DE NUDOS

11/14 DETALLE DE NUDOS

12/14 DETALLE DE NUDOS

13/14 DETALLE DE NUDOS

## 14/14 DETALLES TÍPICOS

### B. Presupuesto

Ya con el juego completo de planos terminado, la compañía constructora, AICSA, procedió a cuantificar todos los materiales y equipo necesarios para realizar la obra. A todo esto se le dio un precio unitario por renglón de actividad basándose en cotizaciones hechas en el mercado del costo de los materiales y la mano de obra. Se hizo un reporte y se acordó una forma de pago con la municipalidad.

### C. Cronograma de trabajo

Después de cuantificar las cantidades exactas de todos los distintos trabajos a realizar, se determinó, a partir de experiencias previas, el tiempo de ejecución de la obra. Se formó un cronograma de trabajo (ver anexo) el cual se acordó entre la empresa constructora, la supervisión y la municipalidad. Como la fabricación y montada de la armadura del puente fue hecha a subcontrato por ACEROS ARQUITECTÓNICOS, el gerente, Señor Julio Rivera, encargado del proyecto, hizo un cronograma que se apegara al ya determinado y acordado por AICSA y la Municipalidad (ver anexo). A esto se le agregó también las actividades y trabajos complementarios que fueron surgiendo durante la ejecución del proyecto.

## VI. EJECUCIÓN DE OBRA

### A. PERFORACIÓN Y FUNDICIÓN DE CIMIENTOS EN PILAS INTERMEDIAS

Ya localizados en campo los puntos y ejes topográficos en cada lado del puente, se procedió a perforar los pozos donde serían fundidos los pilotes. Éstos se perforaron a mano con personal especializado y siempre tomando las precauciones necesarias para garantizar la seguridad de los trabajadores. Esto se logró teniendo siempre en obra equipo como energía eléctrica y lámparas de seguridad con cordones lo suficientemente largos para llegar al fondo de los pozos y una bomba sumergible. Cualquier persona que bajara dentro de los mismos, debía colocarse un casco de seguridad, y un arnés, éste debidamente atado a cables que facilitarían el movimiento vertical de las personas.

Durante el proceso de perforación se llevó un control estricto de verticalidad, revisando a cada 2.00 metros de excavación los ejes en planta así como el diámetro del pozo. Ningún centro de los pilotes tuvo la desviación mayor a 2.5cm respecto a su localización en planta, siendo la máxima permitida en el diseño de más o menos 10cm medidos en la parte superior del pilote; y ningún centro de pilotes estuvo fuera de su eje vertical por más de 1.5cm en su parte superior y 2.5cm en su parte inferior. Las desviaciones máximas permitidas son: 3.75cm en los 3.00m superiores del pilote y 1.25cm por cada 3.00 subsiguientes de profundidad. El diámetro fue constante, nunca tuvo excentricidades (siempre fue redondo) y nunca varió en su diámetro por más de 1.5cm.

Se colocó el acero de refuerzo, vertical y para estribos, en cada uno de los pilotes, de acuerdo a la disposición, diámetro y longitud indicada en el diseño de los mismos. El acero de refuerzo utilizado, tanto el vertical como el de los estribos, es Grado 40 de acuerdo con cualquiera de las Especificaciones AASHTO M-31, M-42 y M-53, tal como se indica en los Planos. Todo el acero fue inspeccionado al momento de colocarse para asegurarse que estuviera libre de óxido, lodo o cualquier otro material deletéreo que perjudica la adhesión con el concreto. Se aseguró con métodos eficientes y adecuados, que el acero permaneciera en su posición durante el colocado del concreto y que se mantuviera el recubrimiento mínimo especificado. Se usaron bloques de concreto profundidos como separadores aprobados, previstos para ese objeto.

El concreto y su colocación dentro del agujero excavado se apegó a la especificación AASHTO M-157, y a la ACI 304-88. Se aseguró, antes del inicio del colocado, un abastecimiento constante del concreto ya que éste fue mezclado en obra. El concreto usado para los pilotes debía tener a la ruptura una resistencia a la compresión no confinada de  $280 \text{ Kg/cm}^2$  ( $4,000 \text{ Lbs/pulgadas}^2$ ) como mínimo a los 28 días de curado, con un “slump” entre 10.0 y 12.0cm (4.0 a 4.5 pulgadas). Hubo que asegurarse durante la construcción de los pilotes que el concreto no se disgregara y que se compactara lo mejor posible sin vibración. El manual ESPECIFICACIONES GENERALES PARA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS Y PUENTES no permite la caída libre del concreto por más de 2.00 m para evitar el problema de la disgregación. Para esto, en cada fundición se utilizó una tubería flexible tipo “trompa de elefante” que permitía el transporte vertical del concreto, deteniendo su caída libre, evitando así su disgregación. Durante su colocación, el nivel del concreto se mantuvo a una altura mínima de 0.50 metros y a una altura máxima de 2.00 metros, arriba de la superficie del concreto. Este concreto se utilizó con fluidificante, previamente aprobado por la Supervisión, lo cual hizo que el “slump” aumentara a un rango variado entre 15.0 y 17.0cm (6.0 ó 6.5 pulgadas) para facilitar su movimiento dentro de la tubería de la “trompa de elefante”. En cada fundición el concreto se colocó en forma continua en toda la profundidad del pilote para evitar problemas de juntas frías. El volumen teórico de concreto requerido para fundir el pilote fue medido y calculado, pudiendo comprobar así si no ocurrió segregación, derrumbes o “ratoneras” en los pilotes.

#### B. CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO EN FUNDICIONES EN GENERAL

El concreto usado en un principio para la fundición de los primeros pilotes fue proveído por la única compañía que suministra concreto premezclado. Sin embargo, fueron surgiendo problemas como la variación en el volumen del concreto suministrado contra el volumen teórico de acuerdo a la geometría a fundir. Esta variación en las tres fundiciones efectuadas fue de un 4% a un 13%, siempre de más. El volumen de entrega siempre fue mayor a lo que daba el volumen medido, siendo siempre variable, al extremo de no poder controlar los volúmenes en obra. El otro problema fue la variación de los resultados efectuados en las pruebas de compresión del concreto entregado. En un informe de laboratorio de la empresa un concreto dio 5000 psi a los 36 días. Existe otro que a los 14 días casi tiene las 4000 psi pedidas.

Por estas razones se decidió, en conjunto, apoyarse en lo indicado en el libro de ESPECIFICACIONES GENERALES DE CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS Y PUENTES de la Dirección General de Caminos. Este libro indica que de acuerdo con las bases de la licitación, la construcción del puente rige a usar el sistema de concreto mezclado en el lugar, el cual es usado en la construcción de la mayoría de puentes en Guatemala.

Es por eso que se contrató al Ing. Aníbal Rodas Mazariegos para que diseñara y controlara la mezcla del concreto a usarse, dado el prestigio que mantiene, por su experiencia en este tipo de trabajo. Se puede tener un control directo, tanto de la mezcla como de los resultados de las pruebas. Para el diseño del concreto, se llevaron muestras del mismo banco al Ing. Rodas de todos los agregados a usarse en la fabricación de concreto. Después de hacer su análisis, entregó los resultados de las características y recomendaciones en el uso de los materiales como sigue:

## 1. CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS

- a. Agregado fino
- b. Agregado grueso de 1.00" (piedrín)

En general los agregados analizados pueden ser utilizados para concreto de 280 kg/cm<sup>2</sup>.

Observación: Se requiere concreto de 6.50", por lo que es indispensable utilizar un fluidizante para el concreto.

2. DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO. El diseño de la mezcla de concreto se realiza para cemento tipo 5000, recomendando mezclas de prueba para obtener información sobre sus características físicas y de resistencia.

De acuerdo a los resultados preliminares, podrá utilizarse cemento de 4000 psi ASTM C-595 (cemento modificado).

### a. REQUISITOS DE LAS MEZCLAS

- 1) Resistencia nominal: 280 kg/cm<sup>2</sup> (4000 psi)
- 2) Resistencia promedio requerida: 325 kg/cm<sup>2</sup> (4621.50 psi)

El incremento a la resistencia nominal se estima para un control de calidad aceptable y su proporción por volumen a través de medidas adecuadas y mezcladora mecánica.

- 3) Relación agua/cemento: 0.53
- 4) Consistencia plástica con un asentamiento no mayor de 10 cms.

Las normas del proyecto requieren 6.50" de asentamiento, por lo que es indispensable el uso de un fluidizante para el concreto.

b. DESARROLLO DEL DISEÑO. PROPORCIONES PARA AGREGADOS DE 1.00":

Cemento: Pórtland tipo 5000

- 1) Mezcla no. 1: 280 kg/cm<sup>2</sup> (cemento tipo 5000). Con base en los resultados de resistencia iniciales se podrá utilizar cemento de 4000psi (cemento modificado).

Proporción por peso: 1:1.98:2.88

Proporción por volumen: 1:1.76:2.88

3. RECOMENDACIONES:

a. DE LOS AGREGADOS. Es recomendable la revisión de las características de los agregados en forma mensual y el control granulométrico cada semana.

b. DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO. Las proporciones indicadas en el informe, deben ser comprobadas en la obra con el equipo disponible, para obtener información sobre sus características físicas (capacidad de trabajo, consistencia, apariencia y resistencia). Se recomienda fabricar cilindros de concreto para su ensayo a pruebas físicas a las edades normalizadas de 7 y 28 días. Para el proporcionamiento por volumen es recomendable el volumen constante y mantener la humedad de los agregados. Cualquier cambio en la humedad del agregado fino puede afectar las características del concreto.

Se aconseja verificar la humedad y el peso volumétrico de los agregados fino y grueso con el objeto de hacer las correcciones por humedad en las proporciones volumétricas.

c. RECOMENDACIONES FINALES. Es aconsejable tener en proyecto, el equipo de control de calidad mínimo:

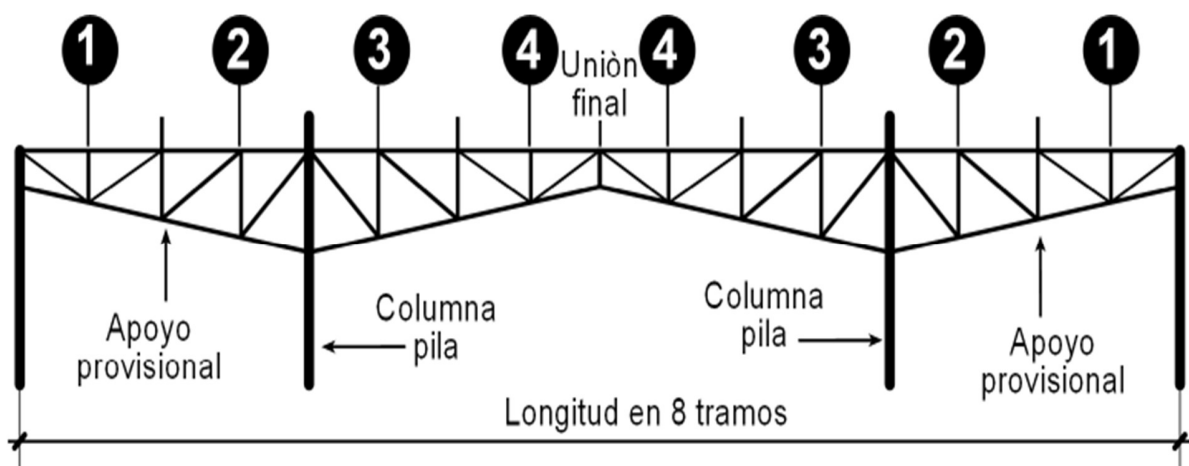
- 1) Un juego de moldes para fabricar cilindros de concreto.
- 2) Un cono de asentamiento para ensayo de consistencia.

Deberán enviarse al laboratorio los cilindros representativos de las pruebas iniciales para posible corrección de las mezclas propuestas, y además, de todas las fundiciones, con el objeto de verificar el grado de uniformidad en la producción y la resistencia media requerida del concreto.

El diseño del Ing. Rodas (ver anexo) sobrepasa la cantidad de cemento establecida en las especificaciones, que es de 8.5 sacos de cemento por metro cúbico. Además en el diseño contempló el uso de cemento tipo 5000 psi, para tener más seguridad en los resultados del diseño. Asegurándose así que el cemento tipo 4000 psi es el adecuado.

#### C. MONTAJE DE ARMADURA

Todo el montaje de la armadura de la segunda fase del puente se efectuó sin interrumpir el tráfico en la primera fase del mismo. El montaje estuvo completamente a cargo de la empresa ACEROS ARQUITECTÓNICOS, siendo el encargado el Señor Julio Rivera.



La estructura se empezó a colocar en dos frentes distintos en cada uno de los lados del puente. En uno se coordinó con la empresa constructora, AICSA, para empotrar las coronas que sirven de base para el rigidizante de las columnas en la viga conectora de los cimientos. A partir de allí, se erigieron las columnas llevando controles de plomada para garantizar su verticalidad y realizando pruebas de rayos X para garantizar la homogeneidad de las soldaduras. Luego, sobre las columnas, se colocaron los balancines que las conectan al resto de la estructura.

En el otro frente se empezó a una distancia media entre las pilas y los estribos. Allí se pusieron torres provisionales con todo y su cimentación para poder apoyar allí y en los estribos las primeras secciones de 15.00 metros, colocadas sin que hubiera ningún problema de dejar alguna de ellas en voladizo, mientras no se balancearan como contrapeso mutuo de uno y otro lado de las columnas. Se colocó la grúa en esa sección e inmediatamente se siguieron colocando las piezas de la siguiente sección de 15.00 metros. Esta última terminó ya colocada sobre las columnas principales y se pudieron quitar las torres provisionales. Se volvió a mover la grúa en esa sección e inmediatamente se inició la construcción de la losa y banquetas de la primera sección de 15.00 metros. Esto creó un efecto de contrapeso con la grúa, que se movió a la última sección para seguir con el montaje, facilitando así el control de nivel y de continuidad con los ejes verticales y horizontales del otro lado del puente. La grúa inició el montaje de la siguiente sección de 15.00 metros en voladizo e inmediatamente sobre ese voladizo avanzó para montar la cuarta sección de 15.00 metros, terminando así unidos los elementos de ambos lados. La armadura coincidió perfectamente con el montaje que se venía haciendo de la misma manera del otro lado del puente. Esto se debió al hecho de que cada miembro

colocado fue medido con niveles y con hilos para verificar que seguía centrado al eje correspondiente (vertical y horizontal, longitudinal y transversal).

Las juntas de los miembros de cada sección se hicieron con pernos ASTM A325. Cada perno se colocó y se enroscó manualmente con llaves y torquímetros adecuados. Al llegar a su torque deseado, se le dio media vuelta más (un giro de 180°) como medida de seguridad según el manual ESPECIFICACIONES GENERALES PARA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS Y PUENTES. Ya habiendo colocado todas las secciones del puente se procedió a revisar todos los pernos de nuevo para asegurarse de que estaban bien atornillados. Luego, se cubrió toda la estructura con una capa de pintura anticorrosiva color naranja, quedando así, terminada la colocación de la armadura.

#### D. REPARACIÓN DE DRENAJES DE ACCESO AL PUENTE

Mientras se realizaba la colocación de la armadura por parte de ACEROS ARQUITECTÓNICOS, se procedió a corregir y rehabilitar los drenajes en los accesos al puente del lado de Guatemala (ver anexos) que habían serios daños en los inviernos anteriores por no recibir mantenimiento. Se reconstruyeron las cunetas, y se conectaron a una tubería que se dirigió hacia la ladera paralela al puente. Luego se procedió a hacer el terraplén con material selecto en el hoyo que ya se había formado a causa de la erosión en la cuneta rota y el terreno de al lado. Esto se hizo compactando el material depositado en estratos de 30cms de espesor teniendo como mínimo un C.B.R. no menor de 10 a 95% de compactación según el método AASHTO T-180 hasta llegar a la altura deseada.

La tubería usada fue hecha de tubo de concreto fundido en el lugar. Este tubo consiste de tres secciones, dos horizontales y otra vertical (ver anexo). La tubería vertical tiene escalones adentro de la misma para disipar la energía acumulada por la caída del agua y así evitar la fuerza que causa su desgaste (ver anexo).

Fue necesario llevar un control de las capas de material selecto depositadas para mantenerlas continuamente niveladas y asegurarse que la compactación fuera uniforme y de acuerdo a lo especificado. Durante las operaciones de compactación, el contenido de humedad de los materiales se aumentó o se disminuyó dentro de los límites que se requería, con la finalidad de obtener la densidad requerida. También se aseguró que la cantidad de compactación

(número de pasadas del equipo de compactación) en un área determinada, fuera uniforme en cada capa. Todos los materiales de los terraplenes y rellenos dentro de los 1.20 metros abajo del nivel de la subrasante terminada, fueron compactados uniformemente con una densidad seca no menor del 90% de la densidad seca máxima obtenida en el laboratorio por el método AASHTO T-180. Todos los materiales de los terraplenes y rellenos colocados debajo de un plano situado 1.20 metros abajo del nivel de la subrasante terminada, fueron compactados uniformemente a una densidad seca no menor de 88% de la densidad seca máxima obtenida en el laboratorio por el método AASHTO T-180. El relleno colocado alrededor de la tubería de los drenajes y las operaciones de construcción se hicieron en forma tal que el relleno se mantuvo siempre a una altura constante en ambos lados de la misma.

#### E. FUNDICIÓN DE ESTRIBOS NUEVOS DE ACCESO

Al rediseñar los ciclos de carga del puente, se acordó con todas las partes involucradas que los estribos del mismo debían también ser reconstruidos para mantener homogeneidad en el diseño y resistencia del mismo. Esta tarea se quedó a cargo de la empresa constructora. Los estribos nuevos fueron construidos siguiendo el detalle de planos hechos por el Ing. Juan Ramón Urrea (ver anexo) al mismo tiempo que se hacían las excavaciones de los pozos para los pilotes. De esta manera, se coincidió en el tiempo de fundición de los estribos y los pilotes como una estrategia de logística de la ejecución de la obra. El control de calidad del concreto estuvo a cargo del Ing. Aníbal Rodas. El acero de refuerzo utilizado es Grado 40 de acuerdo con las especificaciones AASHTO M-31, M-42 y M-53. El recubrimiento mínimo se mantuvo empleando bloques de concreto pre-fundidos.

#### F. FUNDICIÓN DE LOSA Y COLOCACIÓN DE DRENAJES Y CAÍDAS DE AGUA EN EL PUENTE

Al tener ya terminados los estribos y la armadura completamente unida e inspeccionada, se procedió a fundir la losa y banquetas en el puente. El control de calidad del concreto fue exactamente el mismo que el empleado en toda la obra. Para asegurar la separación de las varillas de acero y la continuidad del recubrimiento mínimo, se usaron bloques de concreto prefundidos como separadores.

El acero de refuerzo utilizado, tanto el longitudinal como el transversal, es Grado 40 de acuerdo con las Especificaciones AASHTO M-31, M-42 y M-53, tal como se indica en los Planos. Todo el acero fue inspeccionado al momento de colocarse para asegurarse que estuviera libre de óxido, lodo o cualquier otro material que perjudica la adhesión con el concreto.

Se utilizó 6 juegos completos de formaleta para fundir por tramos de 15.00 m. Se trabajó alternando del lado del puente las fundiciones con el fin de que se hicieran contrapeso las secciones fundidas una con la otra, y minimizar el tiempo de ejecución para optimizar el uso de la formaleta (ver anexo). En cada fundición se mantuvo un control y se llevó registro estricto de nivel del puente con equipo topográfico. Esto ayudó a evitar la desnivelación y el pandeo del puente.

En cada sección se dejó un espacio sin fundir para que, luego de desencofrada, se pudieran instalar los drenajes y bajadas de agua como se especifica en los planos. También se instalaron en las banquetas de cada sección, antes de la fundición, “coronas” con pernos para poder empotrar los soportes del barandal que se procedió a colocar al tener las bajadas de agua ya instaladas.

## VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Como este puente sirve para conectar la carretera CA-1 con la CA-9 por el tramo de San Cristóbal, es recomendable hacer un análisis del comportamiento de la primera fase del puente (el puente viejo) con las cargas nuevas que recibe debido al crecimiento del tráfico por esa zona para luego hacer un estudio de cómo reforzarlo y llegar al rango de resistencia de dichas cargas.
- Aunque con los recursos y el espacio disponibles se ha hecho una gran cantidad de obra para reducir los efectos de los congestionamientos de tránsito, la enorme centralización de los vehículos en la ciudad de Guatemala y su desmedido crecimiento hacen palidecer los logros alcanzados.
- Las acciones realizadas no deben tomarse como soluciones de fondo, sino que, bajo perspectiva actual, como una suerte de “respiro” para la circulación vehicular mientras se toman decisiones más serias.
- La elección de un sistema de pilotaje en particular, debe sustentarse en un análisis no sólo estructural sino también económico y logístico. Se deben tomar en cuenta factores como la localización y el tipo de proyecto que se va a ejecutar. Las características geológicas y topográficas también son de gran importancia y esenciales para una elección correcta.
- Desde el principio del proyecto debe tenerse un criterio estructural bien definido, así como una idea de la situación económica del proyecto que ayude a definir el mismo.
- El usar el método de mezcla de concreto en obra tiene ventajas sobre llevar concreto premezclado al lugar ya que es completamente repetitivo, fácil de llevar un control inmediato y los resultados del laboratorio están completamente controlados.
- Es más efectivo para todos tirar o desechar un terciado de un saco de concreto mal hecho que tener la incertidumbre de la calidad de una camionada de 5 o 6 metros cúbicos que nunca se supo cómo fue elaborado, así también es más fácil sacar y romper la cantidad de cilindros que sean necesarios con control, que atenerse a un resultado que no consta a los constructores.

## IX. BIBLIOGRAFÍA

2001. *ESPECIFICACIONES GENERALES PARA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS Y PUENTES*. Dirección General de Caminos. Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda.

1996. *MANUAL ASTM, Symposium on Steel Forgings 2<sup>nd</sup> volume*. 2da Edición. New Orleans, La. West Conshiohocken, Pa., ix, pag 367.

1990. *ACI Manual of Concrete Practice*. Detroit. Mi. American Concrete Institute. Volumen 5.

1996. *AASHTO Standard Specification for Highway Bridges*.

1996. *Normas Recomendadas AGIES Manual de Normas Estructurales de Diseño y Construcción Recomendadas para la República de Guatemala*. AGIES. NR1 al NR7.

Obregón-Hartleben, Oliver. *ESTUDIO DE CONGESTIONAMIENTO: el caso de la Ciudad de Guatemala. Planificación y Diseño, Municipalidad de Guatemala*.

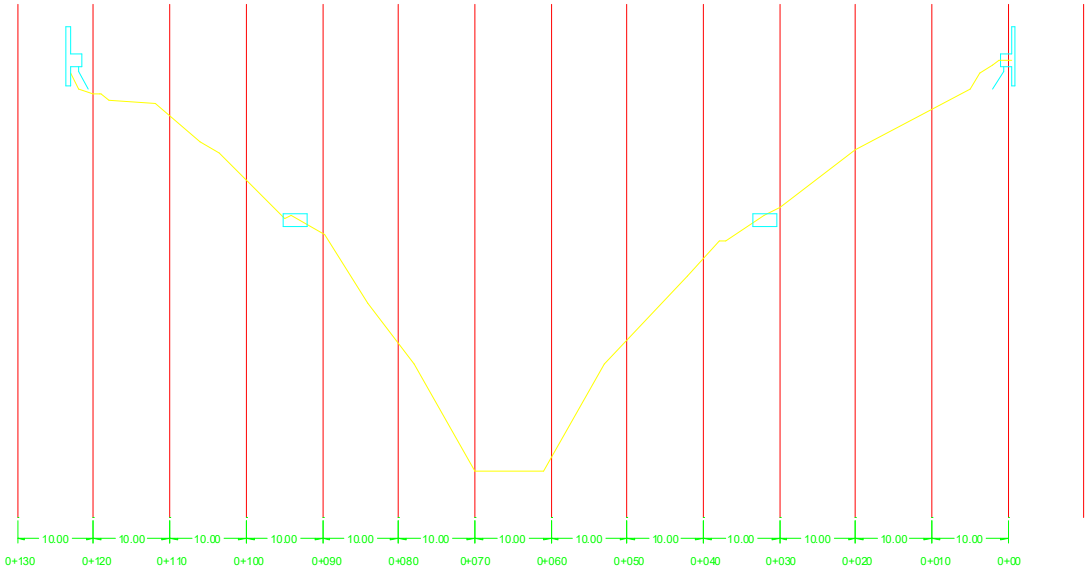
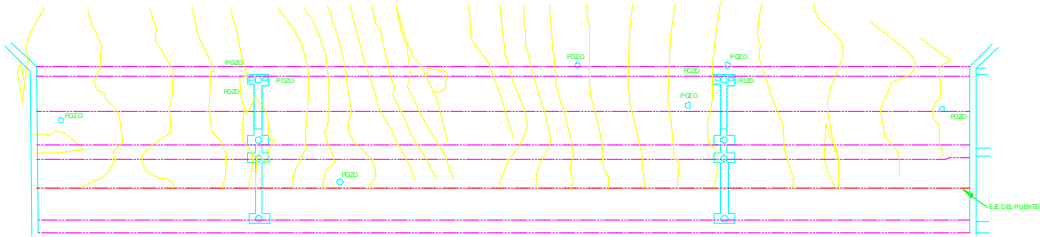
1989. *STANDARD SPECIFICATIONS FOR HIGHWAY BRIDGES*, 14a edición. AASHTO HS pag 20-44.

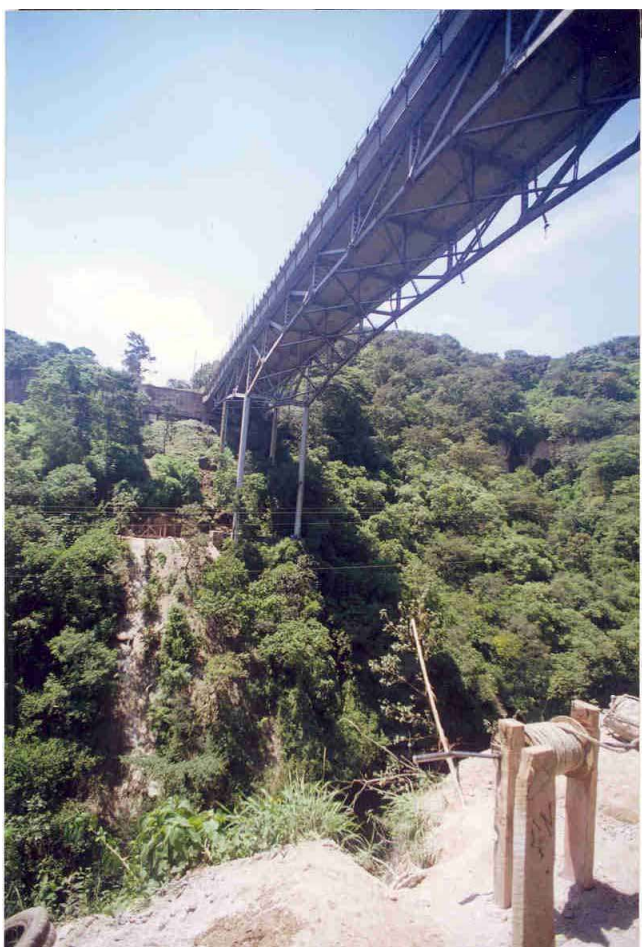
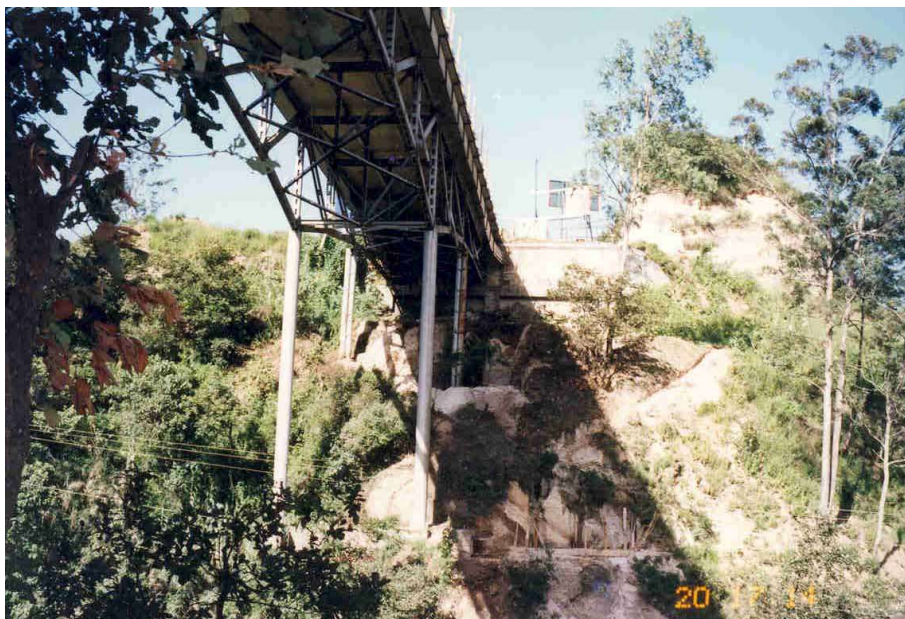
1989. *STANDARD SPECIFICATIONS FOR HIGHWAY BRIDGES*, 14a edición. DIVISION II CONSTRUCTION.

*AASHTO SPECIFICATIONS FOR WELDING OF STRUCTURAL STEEL HIGHWAY BRIDGES*.

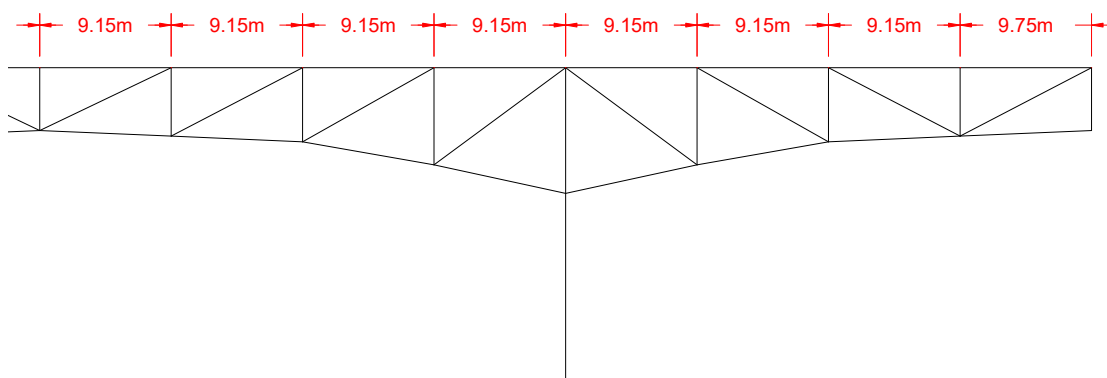
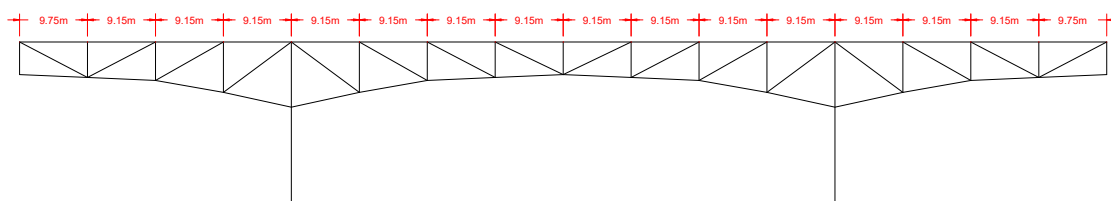
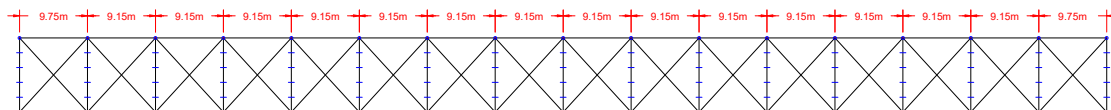
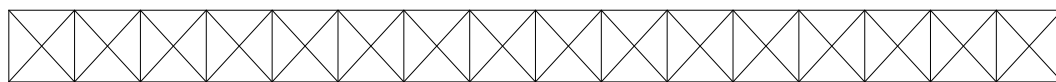
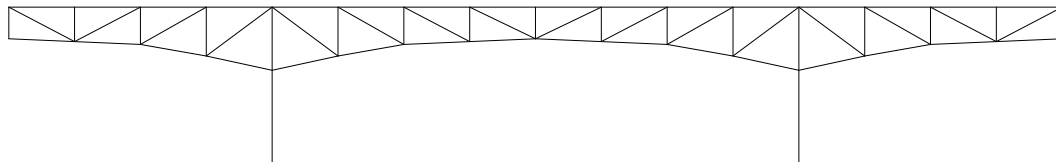
# VIII. ANEXOS

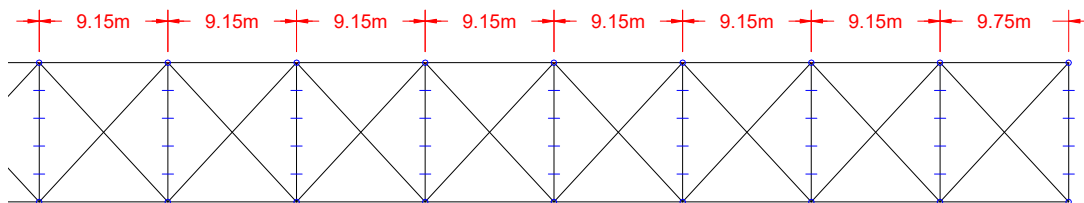
## 1. Topografía





## 2. Geometría básica del puente

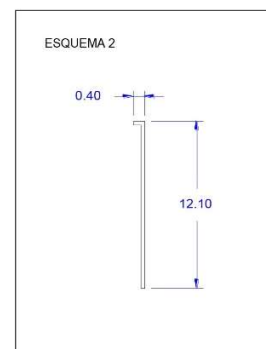
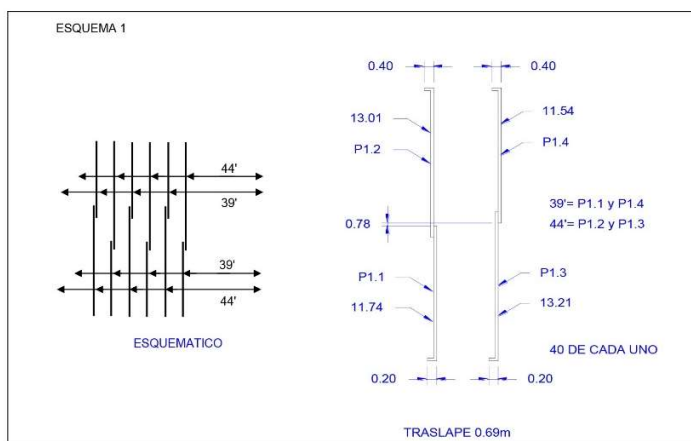


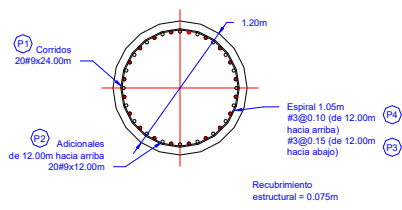


### 3. Pilas de cimentación

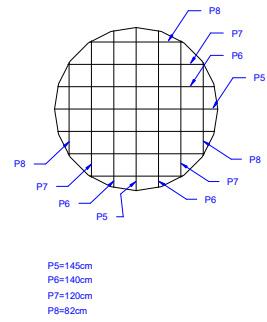
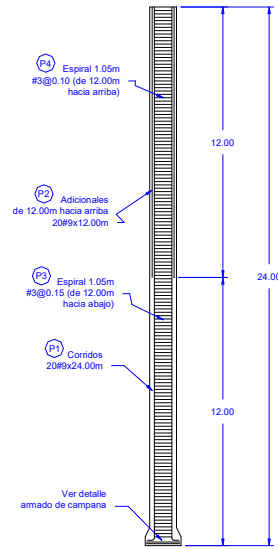
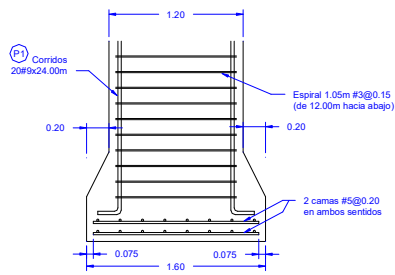
#### PUENTE SAN CRISTOBAL PLANILLA DE HIERRO

LOC.	No.	CANT.	LONGITUD	PESO #	ESQUEMAS	PILOTES					TOTAL QUINTALES	
						6M	44'	41'	39'	12M		
P1	9	160	25.35	45233	* VER ESQUEMA 1 *		160		160		451.52	
P2	9	160	12.50	22304	* VER ESQUEMA 2 *			160			223.04	
P3	3	8	267.19	2636	ESPIRAL 1.05 DIAMETRO @0.15 (PASO)					184	27.23	
P4	3	8	399.14	3938	ESPIRAL 1.05 DIAMETRO @0.10 (PASO)					272	40.25	
P5	5	32	1.45	908	RECTA 4 CIU	8					9.44	
P6	5	64	1.40		RECTA 4 CIU	16						
P7	5	64	1.20		RECTA 4 CIU	13						
P8	5	64	0.82		RECTA 4 CIU	9						
<b>TOTALES</b>				<b>75019</b>		<b>46</b>	<b>160</b>	<b>160</b>	<b>160</b>	<b>160</b>	<b>456</b>	<b>751.48</b>





SECCION PILOTES 1.20m

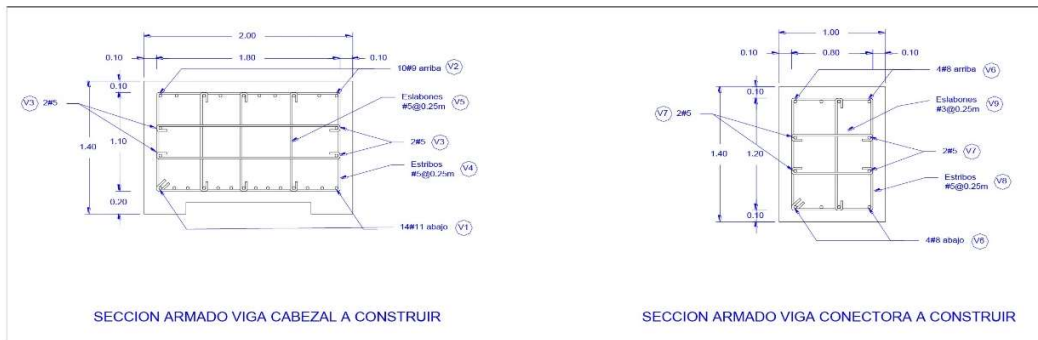


PUENTE SAN CRISTOBAL

PLANILLA DE CORTE

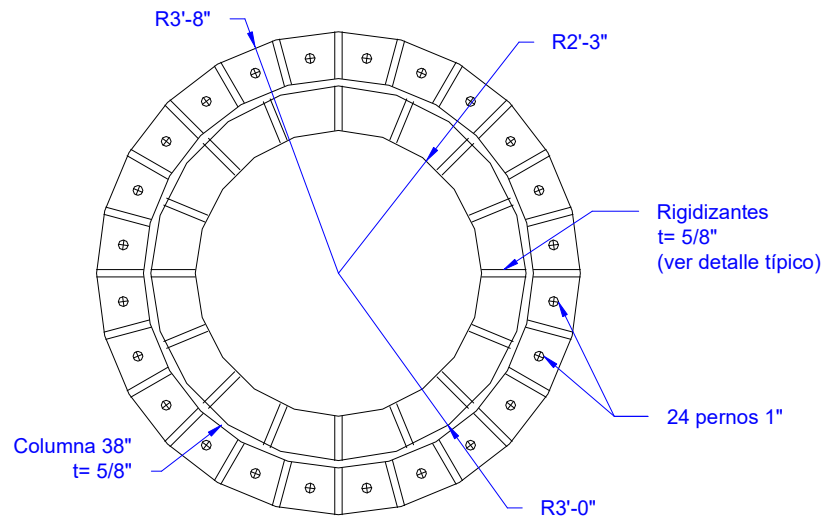
LOC.	No.	LONG.	CANT.	ESQUEMAS		39'	12.00	9.00	6.00	PESO LIBRAS	
V1	11	3.70	56	RECTOS	3 C/VARILLA		19			3,611	
V2	9	3.70	40	RECTOS	3 C/VARILLA	14				1,650	
V3	5	3.70	16	RECTOS	1.50 C/VARILLA				11	203	
V4	5	6.00	64	ESTRIBOS					64	1,314	
V5	5	2.00	128	ESLABONES HORIZONTALES	3 C/VARILLA				43	876	
V5	5	1.30	192	ESLABONES VERTICALES	4 C/VARILLA				48	854	
V6	8	8.11	16					16		1,136	
V7	5	8.11	8					8		222	
V8	5	4.30	40					20		588	
V9	5	1.00	80					9		274	
V9	5	1.50	40						10	205	
<b>TOTALES</b>						<b>14</b>	<b>19</b>	<b>16 No. 8</b>	<b>37 No. 5</b>	<b>176</b>	<b>10,933</b>

USAR SOBRESANTES

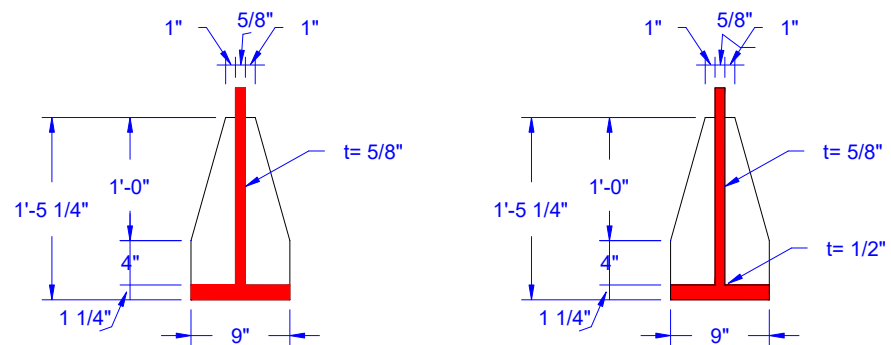






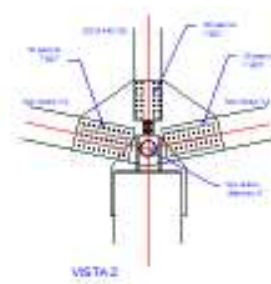
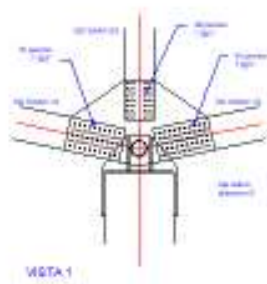
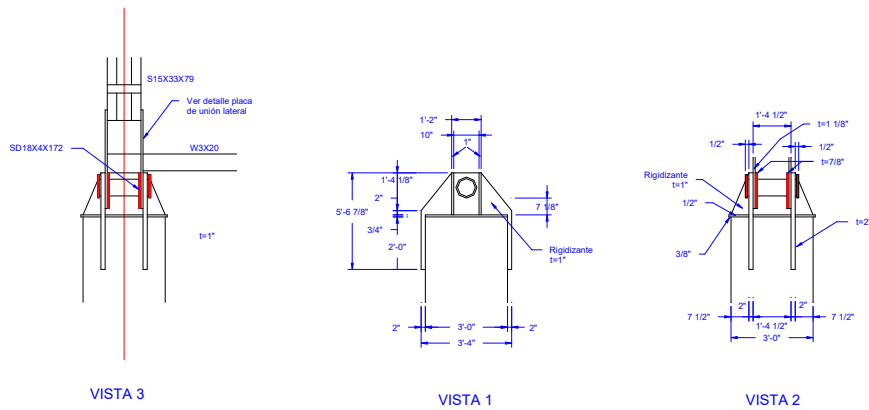
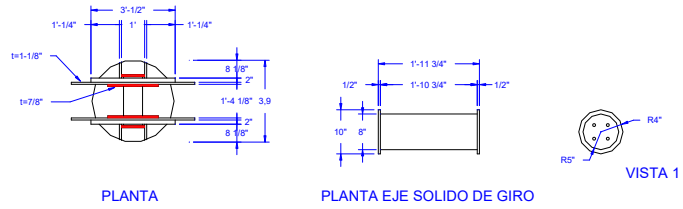


### BASE PARA COLUMNA



### DETALLE TIPO DE RIGIDIZANTE EN BASE PARA COLUMNA

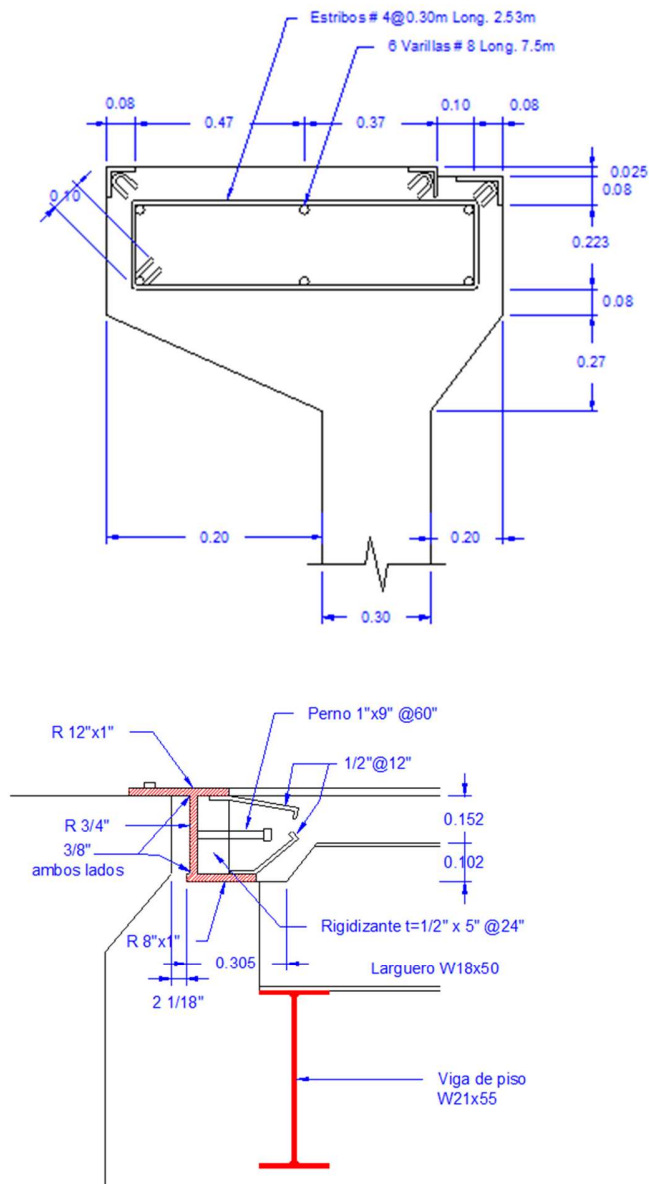
### 4. Armadura





## 5. Estribos

VIGA DE JUNTA CON LOSA  
Marzo 1998



DETALLE JUNTA DE LOSA Y ESTRIBO

## 6. Detalles de losa, banqueta y bajadas de agua

### PUENTE SAN CRISTOBAL LOSA TRAFICO / ACERO DE REFUERZO

PLANILLA DE REFUERZO PARA UN TRAMO DE 25'-00"

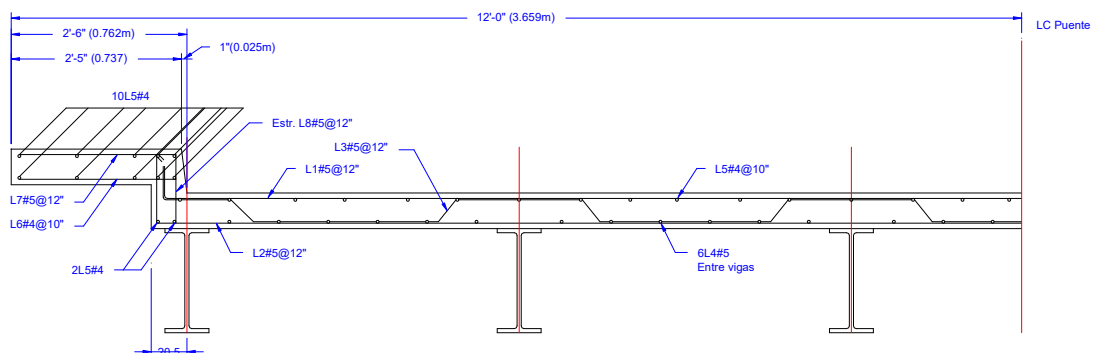
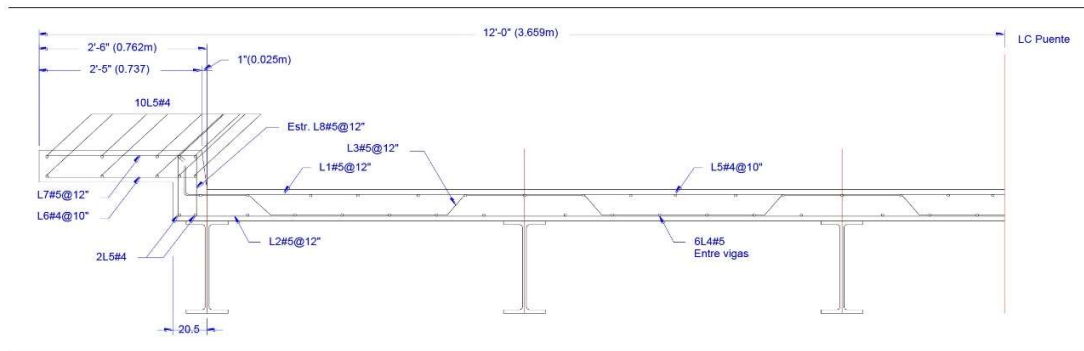
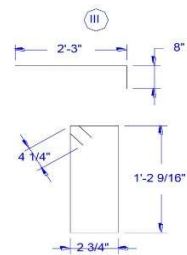
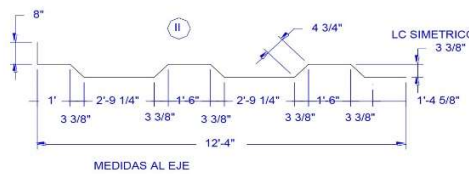
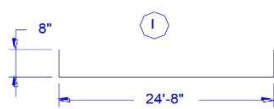
TIPO	No.	CANT.	LONG.	ESQU.	PESO
L1	5	26	26'-0"	I	705.07
L2	5	26	26'-0"	I	705.07
L3	5	25	27'-1 3/4"	II	707.83
L4	5	30	24'-10"	RECTO	777.04
L5	4	55	24'-10"	RECTO	912.38
L6	4	62	2'-11"	III	120.80
L7	5	52	2'-11"	III	158.19
L8	5	52	3'-7 1/8"	IV	194.49
<b>TOTAL LIBRAS:</b>					<b>4280.87</b>

PLANILLA DE REFUERZO PARA UN TRAMO DE 26'-00"

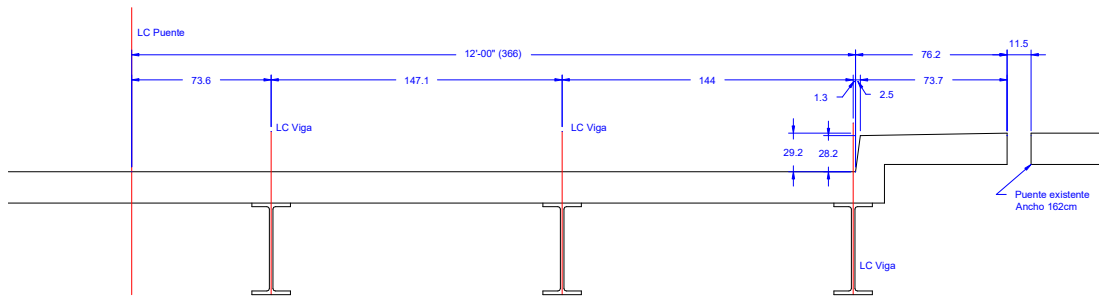
TIPO	No.	CANT.	LONG.	ESQU.	PESO
L1	5	27	26'-0"	I	732.19
L2	5	27	26'-0"	I	732.19
L3	5	26	27'-1 3/4"	II	736.14
L4	5	30	25'-10"	RECTO	808.33
L5	4	55	25'-10"	RECTO	949.12
L6	4	63	2'-11"	III	122.75
L7	5	53	2'-11"	III	161.23
L8	5	53	3'-7 1/8"	IV	198.66
<b>TOTAL LIBRAS:</b>					<b>4440.61</b>

RESUMEN

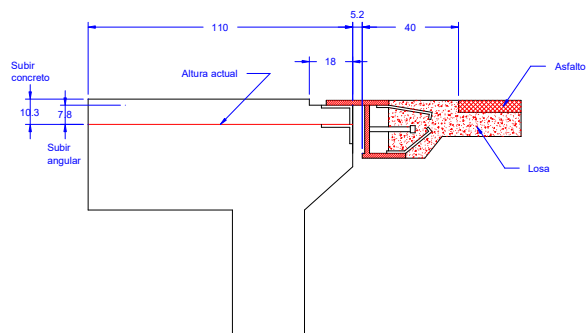
LOC.	No.	LIBRAS
TRAMO 25'	14	59,938.06
TRAMO 26'	2	8,881.22
<b>TOTAL</b>		<b>68,819.28</b>



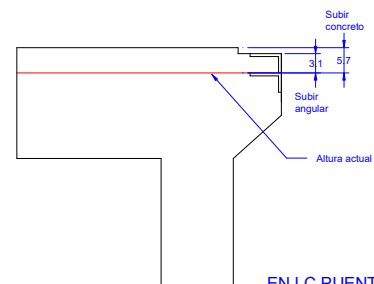
### LOSA TRAFICO ACERO DE REFUERZO



SECCION TRANSVERSAL

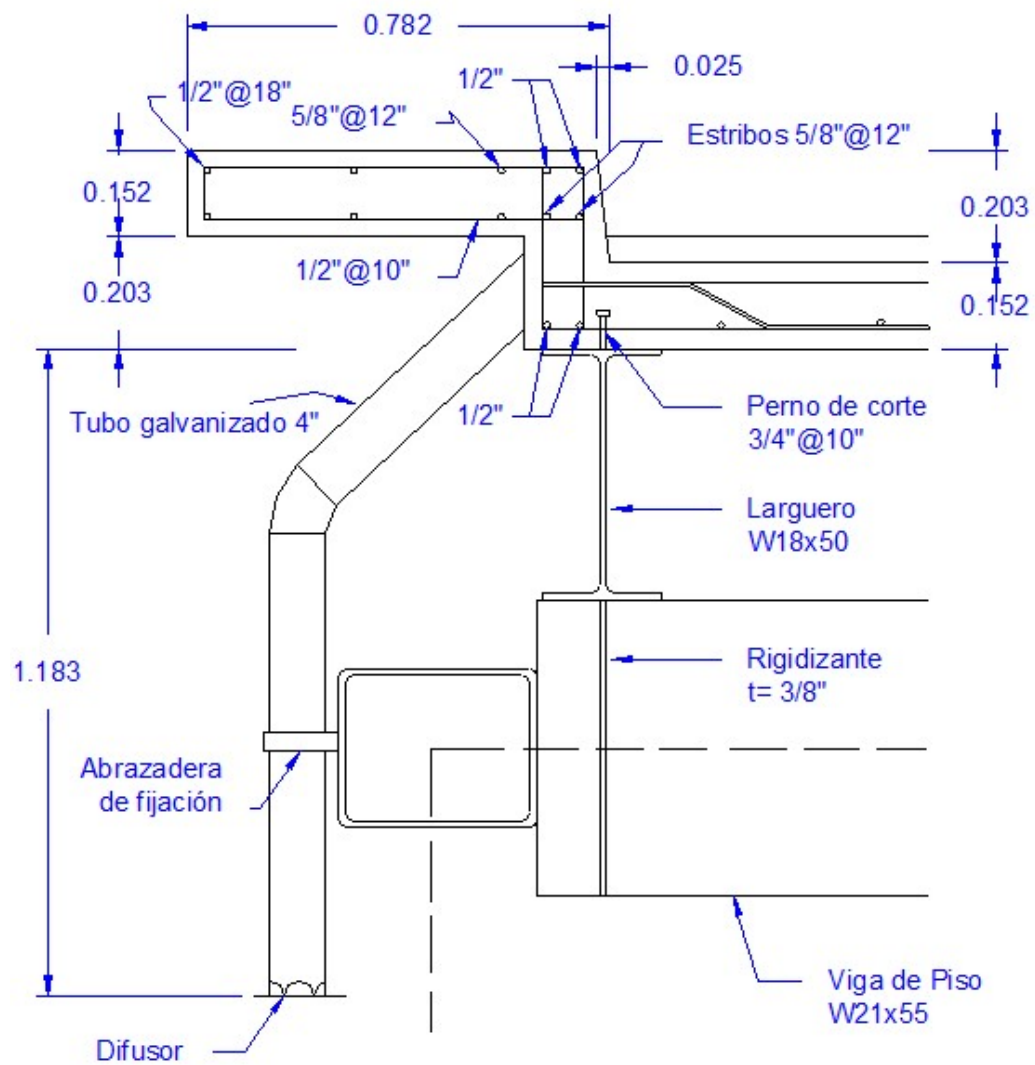


SECCION EN VIGA EXTERNA

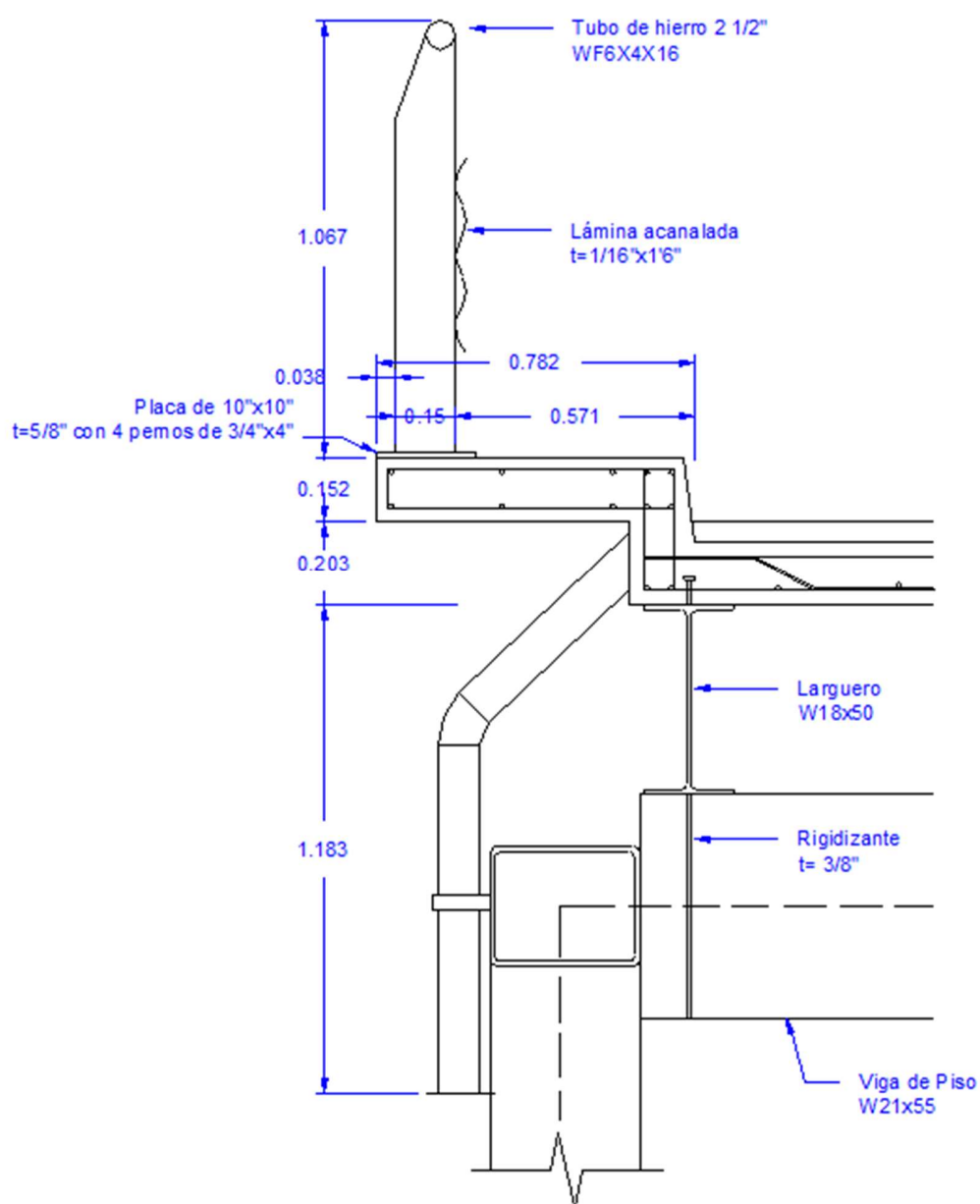


EN LC PUENTE

ENTRADAS A ESTRIBOS

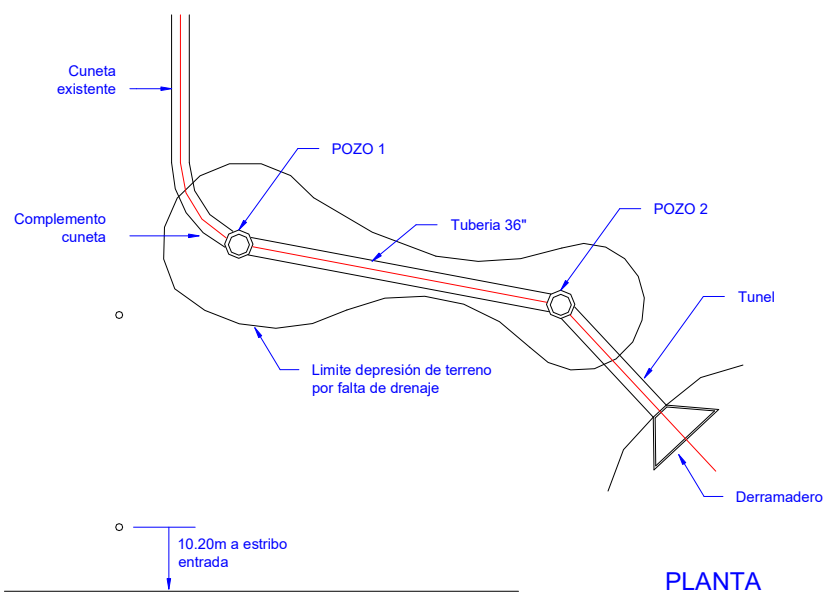
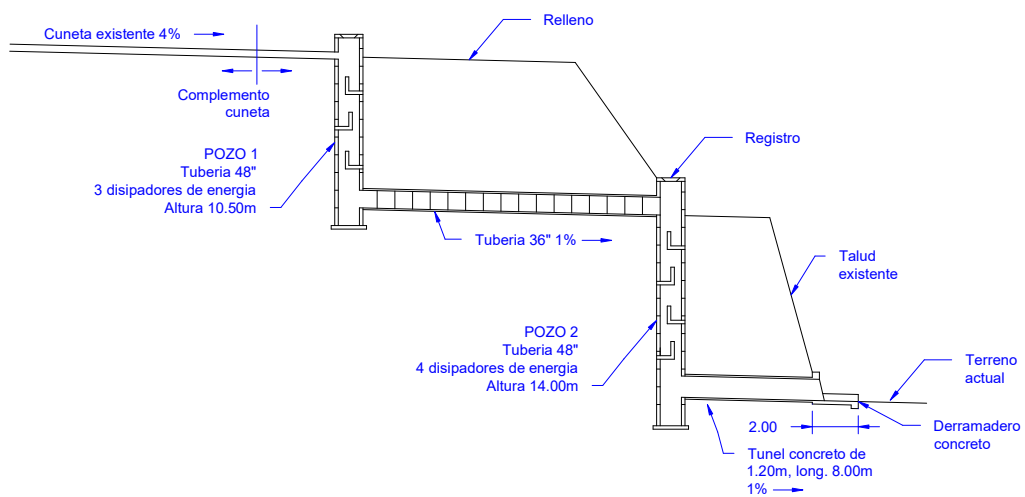


DETALLE DE BANQUETA



SECCION TIPICA DEL BARANDAL DE PROTECCION

## 7. Drenajes de acceso al puente



ENCAUSE DE AGUAS DE LLUVIA  
ESTRIBO DE ENTRADA



## 8. Control de concreto

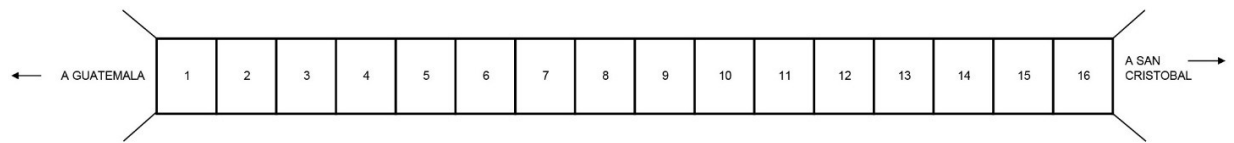






9. Cronogramas

**PUENTE SAN CRISTOBAL  
PLAN DE FUNDICIONES**



NUMERO CORRELATIVO DE FUNDICIONES	4	1	15	5	6	7	11	12	13	8	9	10	14	3	2	16
FECHA FUNDICION	4-Apr	5-Apr	13-May	23-Apr	23-Apr	23-Apr	5-May	5-May	5-May	24-Apr	24-Apr	24-Apr	6-May	2-Apr	30-Mar	15-May
DESENCOFRADO	13-Apr	2-Apr	17-May	27-Apr	27-Apr	27-Apr	9-May	9-May	9-May	28-Apr	28-Apr	28-Apr	10-May	6-Apr	4-Apr	19-May
SECCION DESENCOFRADO	3 →	3 →	ABAJO	← 15	11 →	11 →	← 15	← 15	← 15	← 9	← 9	13 →	16 →	← 13	← 13	ABAJO
No. FORMALETA	IV / 1	I / 1	V / 2	V / 1	VI / 1	I / 2	I / 3	VI / 2	IV / 3	IV / 2	II / 2	III / 2	III / 3	III / 1	II / 1	II / 3
No. FORMALETA	ANDRINO ALQ	AICSA	ANDRINO ALQ	ANDRINO ALQ	DIAZ ALQ	AICSA	AICSA	DIAZ ALQ	ANDRINO ALQ	ANDRINO ALQ	OBRA	ANDRINO ALQ	ANDRINO ALQ	ANDRINO ALQ	OBRA	MADERA OBRA













