

# **UNIVERSIDAD DON VASCO, A. C.**

Incorporación No. 8727-15

A la Universidad Nacional Autónoma de México.

Escuela de Ingeniería Civil

## **DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA SUPERESTRUCTURA DE PUENTE PARA COMUNICAR LA COMUNIDAD DE JICALÁN CON LA CIUDAD DE URUAPAN SOBRE EL RÍO CUPATITZIO.**

Tesis

que para obtener el título de

Ingeniero Civil

presenta:

**Miguel Madrigal Magaña.**

**Asesor: M.I. Enrique Omar Navarro Caballero.**

Uruapan, Michoacán, Marzo del 2010.



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.

## AGRADECIMIENTOS

A Dios por haberme permitido dar este paso tan importante en mi vida sin él no hubiese sido posible redactar estas líneas.

A mi familia que me apoya siempre y en todas las formas, mis padres Luz Madrigal y Lucia Magaña que nunca me dejan de apoyar para superarme, a mis hermanos Jacobo, Guadalupe y Jesús que nunca dejan de darme lecciones y consejos que fortalecen mi interior. A mi novia Marisol Hernández que a lo largo de estos años me ha dedicado parte de su valioso tiempo. Todos ellos son la razón de este episodio en mi vida, y yo soy el reflejo de sus enseñanzas.

A la familia que dejo por un momento el Sr. Martin Magaña<sup>†</sup> que siempre me abrieron la puerta de su casa. Gracias por tus consejos abuelo.

A la persona que me asesoro para elaborar el presente trabajo M.I. Omar Navarro, Al Ing. Anastasio Blanco, además de los profesores de la universidad que con su docencia hacen posible alcanzar estos objetivos.

Sin la participación de todas estas personas no hubiese sido posible lograr lo que en determinado momento parecía difícil.

# ÍNDICE

## **Introducción.**

|                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| Antecedentes. . . . .               | 1 |
| Planteamiento del problema. . . . . | 3 |
| Objetivos. . . . .                  | 4 |
| Pregunta de investigación. . . . .  | 4 |
| Justificación. . . . .              | 5 |
| Delimitación. . . . .               | 6 |

## **Capítulo 1.- Puentes.**

|   |    |
|---|----|
| 1.1. Definición de puente. . . . .  | 7  |
| 1.2. Estructuración de los puentes. . . . .                                     | 8  |
| 1.2.1. Superestructura. . . . .   | 9  |
| 1.2.2. Subestructura. . . . .   | 10 |
| 1.2.3. Infraestructura. . . . .   | 12 |
| 1.3. Clasificación y tipos de puentes. . . . .                                  | 14 |
| 1.3.1. Clasificación de acuerdo a su propósito y ubicación según (SCT). . . . . | 14 |
| 1.3.1.1. Puentes especiales de acuerdo a SCT. . . . .                           | 15 |
| 1.3.2. Clasificación de puentes de acuerdo a su modo de operación. . . . .      | 19 |
| 1.3.3. Clasificación de puentes de acuerdo a su tipo estructural. . . . .       | 26 |
| 1.3.4. Puentes con elementos prefabricados y presforzados. . . . .              | 27 |
| 1.3.4.1. Concreto presforzado. . . . .  | 28 |
| 1.4. Algunos puentes construidos con elementos prefabricados en México. . . . . | 29 |

|      |                   |    |
|------|-------------------|----|
| 1.5. | Normas de diseño. | 30 |
|------|-------------------|----|

## **Capítulo 2.- Historia y evolución de los puentes.**

|          |                                     |    |
|----------|-------------------------------------|----|
| 2.1.     | Los primeros puentes.               | 32 |
| 2.2.     | Evolución de los puentes.           | 33 |
| 2.2.1.   | Puentes de roca.                    | 34 |
| 2.2.2.   | Puentes de madera.                  | 34 |
| 2.2.3.   | Puentes de concreto reforzado.      | 35 |
| 2.2.4.   | Puentes de concreto presforzado.    | 35 |
| 2.2.5.   | Puentes de acero.                   | 36 |
| 2.2.6.   | Puentes de gran longitud.           | 36 |
| 2.3.     | Puentes contemporáneos.             | 37 |
| 2.4      | Protección sísmica de estructuras.  | 41 |
| 2.4.1.   | Sistemas de control.                | 41 |
| 2.4.1.1. | Dispositivos de control en puentes. | 42 |

## **Capítulo 3.- Reglamentación y normatividad.**

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 3.1.   | Nomenclatura de la normativa de la SCT. | 44 |
| 3.1.1. | Tipos de publicaciones.                 | 44 |
| 3.1.2. | Libros.                                 | 45 |
| 3.1.3. | Temas.                                  | 46 |
| 3.1.4. | Presentación.                           | 46 |
| 3.2.   | Normativa para proyecto de puentes.     | 47 |

## **Capítulo 4.- Metodología de la investigación.**

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 4.1.   | Enfoque de la investigación.                    | 53 |
| 4.1.1. | Alcance.  | 55 |
| 4.2.   | Diseño de la investigación.                     | 55 |
| 4.2.1. | Investigación transeccional.                    | 56 |
| 4.3.   | Instrumentos de recopilación de datos.          | 57 |
| 4.4.   | Descripción del procedimiento de investigación. | 58 |

## **Capítulo 5.- Análisis e interpretación de resultados.**

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 5.1.   | Ficha técnica.                             | 59 |
| 5.1.1. | Topografía del lugar.                      | 60 |
| 5.1.2. | Macro localización.                        | 62 |
| 5.2.   | Análisis de cargas.                        | 63 |
| 5.2.1. | Cargas muertas.                            | 63 |
| 5.2.2. | Cargas vivas.                              | 64 |
| 5.3.   | Momentos actuantes en trabes.              | 65 |
| 5.4.   | Diseño de la losa.                         | 71 |
| 5.5.   | Identificación de los elementos mecánicos. | 73 |
| 5.5.1. | Análisis sísmico.                          | 74 |
| 5.6.   | Diseño de las columnas.                    | 75 |

|                      |           |
|----------------------|-----------|
| <b>Conclusiones.</b> | <b>80</b> |
|----------------------|-----------|

|                       |           |
|-----------------------|-----------|
| <b>Bibliografía..</b> | <b>83</b> |
|-----------------------|-----------|

## **Anexos.**

## RESUMEN DE TESIS

En la primera parte de este trabajo se define el concepto de puente su estructuración así como algunas de sus clasificaciones en cuanto a los distintos tipos de puentes que existen.

El segundo capítulo trata sobre la historia y la evolución que han tenido estas estructuras desde lo que es un árbol caído hasta lo que hoy en día son los puentes de concreto presforzado, además se menciona algunas de las medidas que se tienen para la protección de puentes frente a sismos.

El tercer capítulo hace mención de la reglamentación y normatividad que rige actualmente en México para proyectos de puentes.

La metodología de investigación que se llevo a cabo en esta tesis se trata en el capítulo cuarto, donde además se menciona el enfoque de la investigación su alcance así como los instrumentos en la recopilación de datos empleados.

El quinto y último capítulo trata el diseño de la superestructura del puente que comunicara la carretera estatal Uruapan-San Juan Nuevo con la avenida Paseo de la Revolución y salvara la corriente del Río Cupatitzio, mismo que nace en el manantial llamado “Rodilla del diablo”, ubicado dentro del Parque Nacional “Barranca del Cupatitzio”, el cual se encuentra en la ciudad de Uruapan en el estado de Michoacán de Ocampo.

La finalidad de un puente es ayudar a optimizar tiempos de traslado, tanto para camiones de carga como para automóviles usados para transporte de personas.

# INTRODUCCIÓN

## **Antecedentes**

En la presente tesis se plantea una propuesta de diseño de la superestructura del puente que comunicara la carretera estatal Uruapan-San Juan Nuevo con la avenida Paseo de la Revolución y salvara la corriente del Río Cupatitzio, mismo que nace en el manantial llamado “Rodilla del diablo”, ubicado dentro del Parque Nacional “Barranca del Cupatitzio”, el cual se encuentra en la ciudad de Uruapan en el estado de Michoacán de Ocampo.

Las estructuras de puentes son tan antiguas como la civilización misma, desde que el hombre tuvo la necesidad de librar un claro sobre una depresión topográfica, un Río o simplemente habilitar un paso a desnivel. Diversas culturas antiguas construyeron este tipo de estructuras sin embargo fue durante el imperio romano cuando se aportaron mas conocimientos, ya que existieron grandes ingenieros de puentes.

La evolución en los materiales de construcción ha permitido que se desarrollen estructuras cada vez más ligeras y a la vez más resistentes a las cargas que deba soportar cada elemento que forme parte de ellas.



En los inicios del diseño de puentes se utilizaban materiales como la mampostería y la madera, ahora en la actualidad han sido sustituidos por el acero y concreto, los cuales presentan propiedades como la durabilidad y resistencia de manera general bajo condiciones climáticas poco favorables.

“Un puente es una estructura que proporciona una vía de paso sobre el agua, una carretera o un valle. Los puentes suelen sustentar un camino, una carretera o una vía férrea, pero también pueden transportar tuberías y líneas de distribución de energía”. (Enciclopedia Encarta; 2008)

## **Planteamiento del problema**

Es de vital importancia para el ser humano contar con alternativas de tránsito que le permitan una calidad de vida mejor para su desarrollo, tanto personal como en su entorno social, para lo cual, el mismo se ha visto en la necesidad de construir estructuras que satisfagan sus demandas en la optimización de tiempos para el traslado de un sitio a otro tanto de personas como de mercancías.

Por tal motivo, surge la propuesta de diseñar la superestructura de un puente que comunique de manera rápida la carretera Estatal Uruapan-San Juan Nuevo con la avenida Paseo de la Revolución, mismo que entronca con el libramiento Oriente, que es la principal vía utilizada por el transporte de carga para evitar circular por el núcleo urbano de la Ciudad de Uruapan, dicho libramiento comunica a su vez con la supercarretera que conduce a la Ciudad de Morelia.

Se ha observado que en la zona poniente de la Ciudad de Uruapan se presentan con frecuencia congestionamientos viales, debido al tránsito de vehículos de carga mismos que tienen que circular por zonas céntricas cuando se tiene por destino la comunidad de San Juan Nuevo, ya que éste es un lugar de afluencia turística e importante dentro del campo de producción de aguacate.

## **Objetivos**

Objetivo general.

Diseñar la superestructura de un puente que comunique la colonia Zumpimito con la comunidad de Jicalán, ambos pertenecientes al municipio de Uruapan.

Objetivos particulares.

- Establecer la mejor ubicación del puente sobre la barranca del Río Cupatitzio.
- Mejorar el tránsito vehicular en la zona sur de la ciudad de Uruapan.
- Optimizar el tiempo de traslado.

## **Pregunta de investigación**

La finalidad de un puente es ayudar a optimizar tiempos de traslado, tanto para camiones de carga como para automóviles usados para transporte de personas. Para cumplir con este objetivo el puente debe brindar las condiciones de comodidad, seguridad y estética cumpliendo con las normas y recomendaciones que marca la Secretaria de Comunicaciones y Transportes así como los lineamientos marcados en acuerdos internacionales enfocados al diseño de puentes.

De lo mencionado anteriormente nace la siguiente pregunta de investigación:  
De acuerdo a las normas y reglamentos ¿Cómo debe ser la superestructura del puente que cruzara el rio Cupatitzio y comunicara la comunidad de Jicalán con la colonia Zumpimito en cuanto a geometría y propiedades mecánicas para que resista las distintas cargas que actuaran sobre ella?

## **Justificación**

La ciudad de Uruapan, según el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), es uno de los centros urbanos más importantes del estado se localiza en la porción oeste del estado de Michoacán y ocupa el 1.62% de la superficie total del estado.

Según la Tesorería General del Estado hay setenta mil setecientos setenta y ocho vehículos de motor registrados (hasta diciembre de 2005) incluyendo automóviles, camiones de pasajeros, de carga, motocicletas, únicamente en la ciudad de Uruapan.

De acuerdo con el INEGI (2005) en el municipio de Uruapan hay alrededor de doscientos setenta y nueve mil doscientos veintinueve habitantes, de los cuales el 62.2% esta en edad de conducir un auto.

Estas cifras indican que, al ser Uruapan un núcleo urbano de relevante importancia, necesita ser dotado de infraestructura que satisfaga las necesidades de los habitantes, transeúntes y visitantes de la ciudad o de localidades aledañas al municipio.

Otro factor importante será el descongestionamiento vial que presente la construcción del puente, ya que representará una nueva alternativa de circulación para el tránsito vehicular de la zona oriente de Uruapan a la comunidad de San Juan Nuevo Parangaricutiro o viceversa permitiendo agilizar el transporte de carga principalmente.

Los beneficiados directamente son los habitantes de la ciudad de Uruapan y los habitantes de la comunidad de San Juan Nuevo, así como todo usuario de la carretera que comunica ambas ciudades.

## **Delimitación**

En la elaboración de un proyecto como lo es un puente interviene una suma importante de especialistas tanto en geología, en hidráulica, en estructuras así como otras disciplinas del ámbito social y ambientalistas.

El presente trabajo se enfoca solamente al diseño estructural de la superestructura y en cuanto al proyecto geométrico y la cimentación, sólo se hizo una propuesta sin estudiar a fondo los factores que intervienen en su determinación.

# CAPÍTULO 1

## PUENTES

Para llevar a cabo un tránsito vehicular adecuado, sin interrupciones, seguro, y eficiente el hombre contemporáneo construye estructuras que garanticen funcionalidad, resistencia y durabilidad con la finalidad de mejorar el nivel de vida de los usuarios y optimizar el funcionamiento de las vías de comunicación.

### **1.1. Definición de puente.**

Es una estructura que se construye de distintos materiales con la finalidad de salvar obstáculos (los cuales pueden ser naturales o artificiales), una depresión topográfica, o un río.

De acuerdo a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) un puente consta de una longitud mayor a seis metros y las dimensiones del mismo quedan definidas por razones hidráulicas.

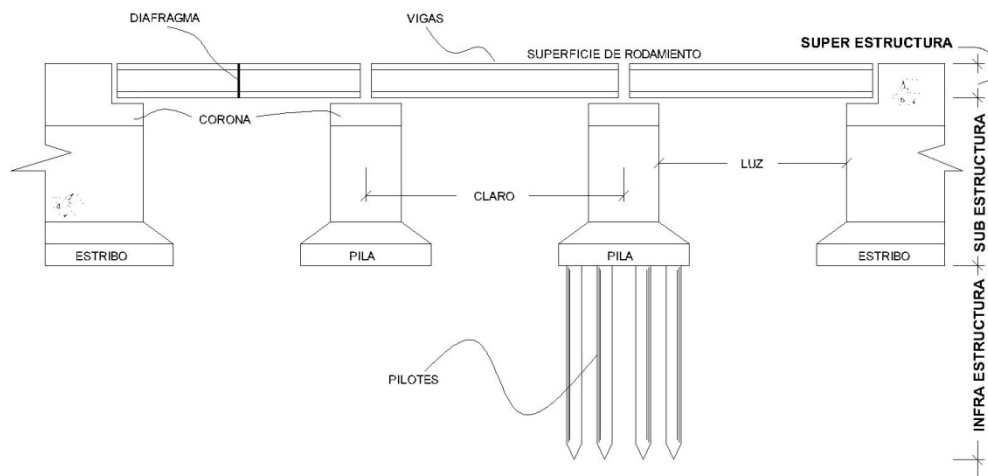
“Los puentes son estructuras de más de seis metros de largo y no llevan colchón de tierra sobre ellos” (Crespo; 1996; 681). Estas estructuras también son objeto de tránsito de automóviles y personas.

Según se menciona en las especificaciones de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) para el diseño de puentes, un Puente es cualquier estructura con una abertura de no menos de 6.10mts. Y que forma parte de una carretera o está ubicada sobre o debajo de una carretera.

Se observa que hay semejanza entre las definiciones mostradas anteriormente y por lo tanto se establece que un puente es una estructura utilizada para librar obstáculos de manera que no se interrumpa el tránsito y su geometría se adecua a las necesidades que se tengan que cubrir considerando que un puente se puede localizar sobre o debajo de una carretera, librando una depresión topográfica, un río, una zona urbana, un lago e incluso una cierta porción de mar.

## 1.2. Estructuración de los puentes.

La estructura de un puente se divide en tres categorías las cuales son la superestructura, la subestructura y la infraestructura.



(Fig.1.1 Elementos que componen un puente. Fuente: Miguel Madrigal Magaña)

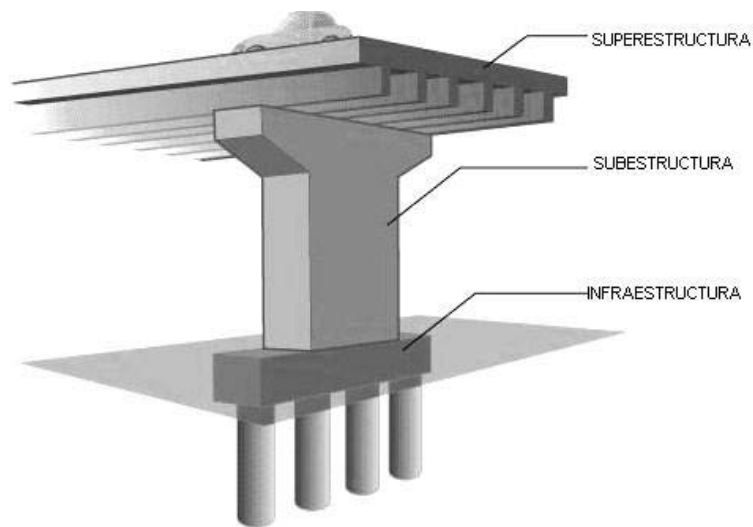


Fig.1.2. Estructuración de un puente.

(Fuente: <http://sunroad.pe.kr>)

### 1.2.1. Superestructura.

La superestructura es la parte donde actúa la carga móvil constituida por; Losa del tablero, Vigas longitudinales y transversales, Aceras y pasamanos, Capa de rodadura así como otras instalaciones como postes de alumbrado, cables de electricidad, etc.

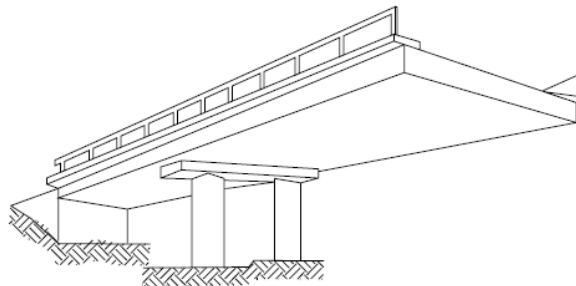


Fig.1.3. Tipo losa

(Fuente: Guía para la inspección de puentes)



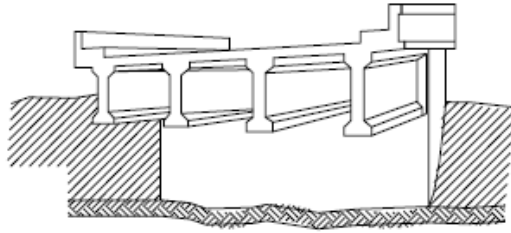


Fig.1.4 Losa con viga de concreto pretensado

Fuente: Guía para la inspección de puentes.

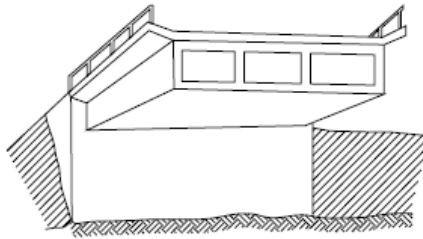


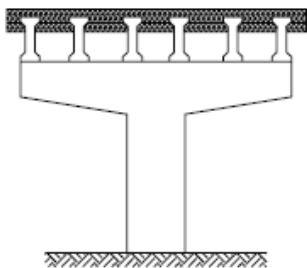
Fig.1.5 Losa con viga tipo cajón

(Fuente: Guía para la inspección de puentes)

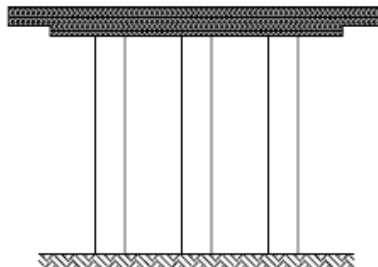
### 1.2.2. Subestructura.

La subestructura es la parte del puente que desarrolla la función de transferir las cargas a la cimentación y está formada por las pilas y los estribos.

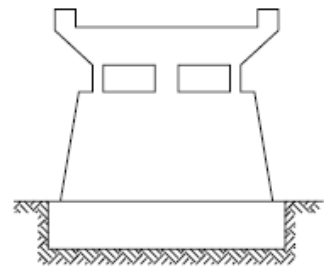
A continuación se presentan varios tipos de pilas.



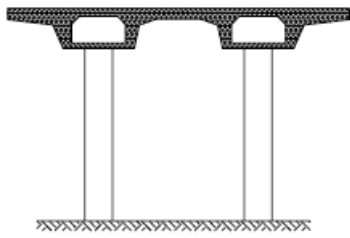
PILA EN T



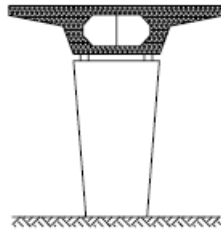
PILA DE 4 COLUMNAS



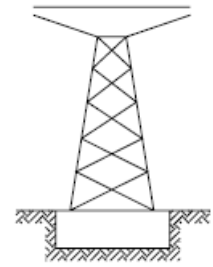
PILA MURO



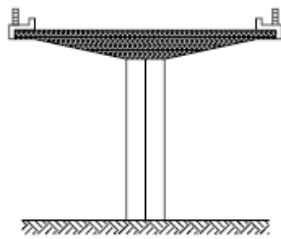
PILA DE DOS COLUMNAS



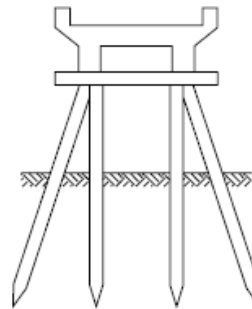
PILA TIPO PLACA



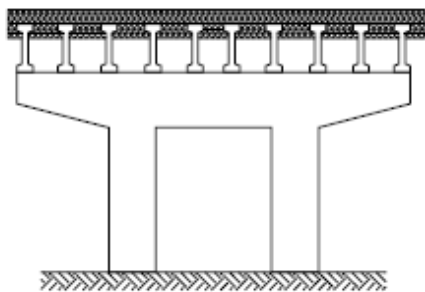
PILA CELOSIA



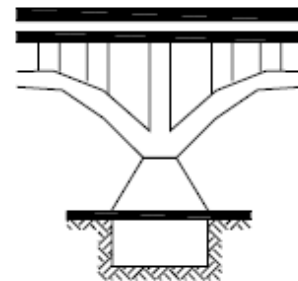
PILA COLUMNA



PILA CEPA



PILA TIPO PORTICO



PILA EN ARCO

Fig.1.6 Tipos de pilas

(Fuente: Guía para la inspección de puentes)

Así mismo los estribos, que son los elementos de apoyo en los extremos del puente, también pueden ser de varios tipos.

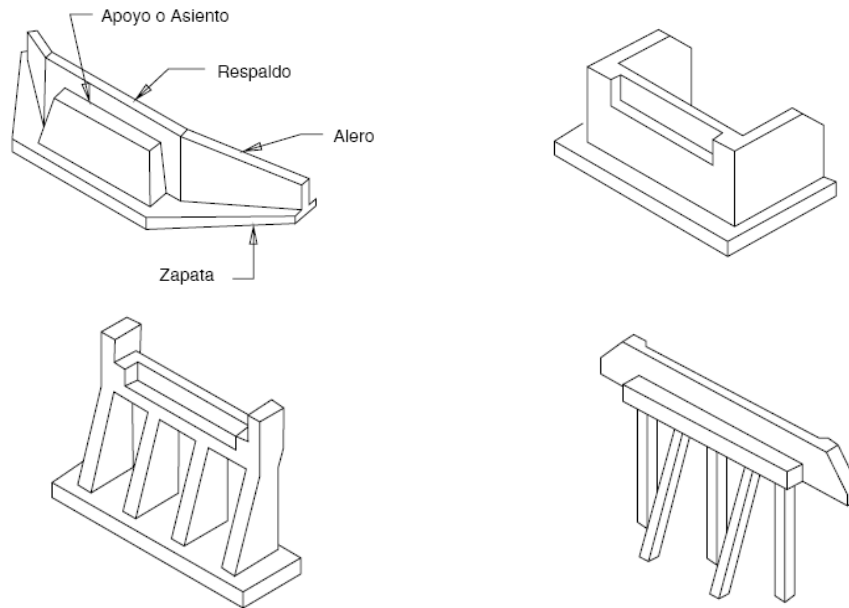


Fig.1.7 Tipos de estribos

(Fuente: Guía para la inspección de puentes)

### 1.2.3. Infraestructura.

La infraestructura es la cimentación del puente, esta puede ser como señala Crespo (1996) de pedestales de mampostería o de concreto, pilotes o cilindros de fricción.

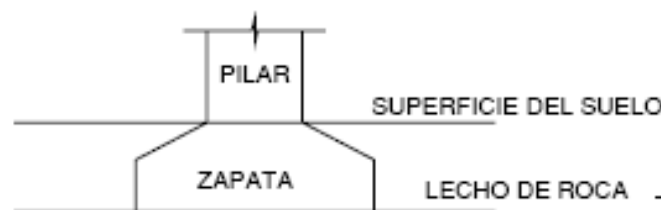


Fig.1.8 Zapata superficial

(Fuente: Guía para la inspección de puentes)

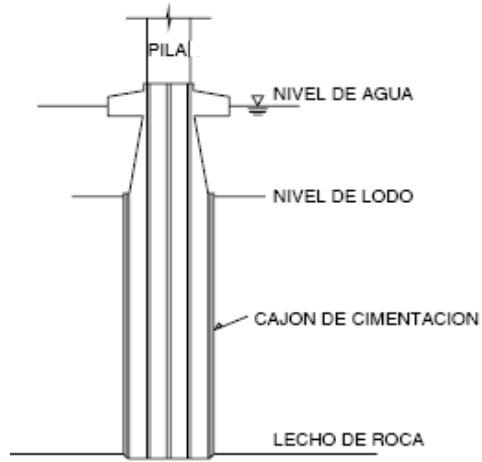


Fig.1.9 Cajón de cimentación. (Fuente: Guía para la inspección de puentes)

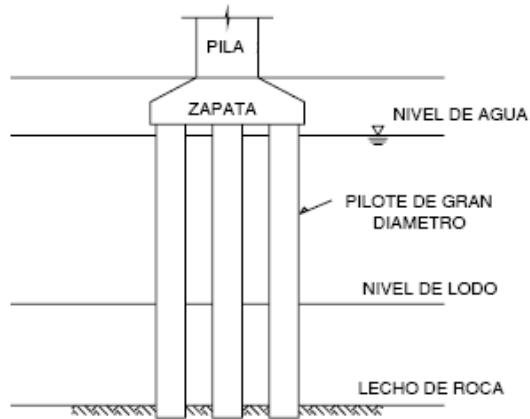


Fig.1.10 Pilotes de gran diámetro. (Fuente: Guía para la inspección de puentes)

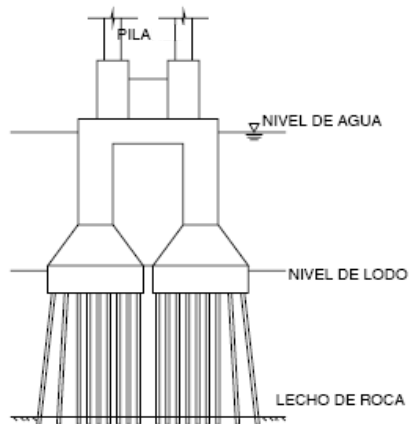


Fig.1.11 Grupo de pilotes esbeltos. Fuente: (Guía para la inspección de puentes)

### **1.3. Clasificación y tipos de puentes.**

Existen distintas clasificaciones de puentes. Según Merrit (1999) los puentes se pueden clasificar de acuerdo al servicio que prestan o instalaciones que soportan, puentes sobre accidentes naturales, de acuerdo a su geometría básica, sistema constructivo, o de acuerdo a los materiales de construcción empleados.

#### **1.3.1. Clasificación de acuerdo a su propósito y ubicación según SCT.**

La Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT) dentro de la norma N·PRY·CAR·6·01·001/01 hace una clasificación de este tipo de estructuras de acuerdo a su propósito y ubicación, la cual es la siguiente:

- ✓ Viaducto.- se construye sobre barrancas y zonas urbanas.
  
- ✓ Paso superior vehicular o PSV.- es una estructura que se construye en un cruce de la carretera de referencia por encima de otra vialidad, mientras que un PIV paso inferior vehicular es similar al PSV solo que en este caso la carretera de referencia pasa por debajo de otra vialidad.
  
- ✓ Paso superior de ferrocarril o PSF.- se construye en un cruce de la vialidad de referencia por encima de una vía de ferrocarril, la diferencia con un PIF que es un paso inferior de ferrocarril reside en que la carretera de referencia pasa por debajo de una vía de ferrocarril.

- ✓ Paso inferior peatonal PIP.- está destinado únicamente al tránsito de personas y se construye por encima de la carretera de referencia.
- ✓ Paso inferior ganadero o PIG.- se destina para el paso de personas y ganado y se construye por encima de la carretera de referencia.
- ✓ Un puente canal.- está destinado únicamente al paso del flujo de un canal que se construye por encima de la carretera de referencia, de igual manera lo es un puente ducto pero este es exclusivo para uno o varios ductos.

También se pueden clasificar los puentes de acuerdo a su uso, la ubicación de la calzada, sistema estructural predominante y según el fundamento arquitectónico o estético que se empleó.

#### **1.3.1.1. Puentes especiales de acuerdo a SCT.**

Este tipo de puentes tienen una estructuración diferente a la común y consiste en superestructuras de tramos libremente apoyados o continuos. Estos puentes se clasifican en:

##### **PUNTES CONSTRUIDOS EN VOLADIZO.**

Son puentes cuya superestructura está constituida por segmentos o dovelas prefabricados o colados en sitio mediante cimbra móvil, que se colocan sucesivamente a partir de un elemento de subestructura, formando un voladizo de

longitud creciente, hasta encontrarse con el extremo de otro voladizo que parte de un elemento de subestructura adyacente, o hasta apoyarse en un estribo.

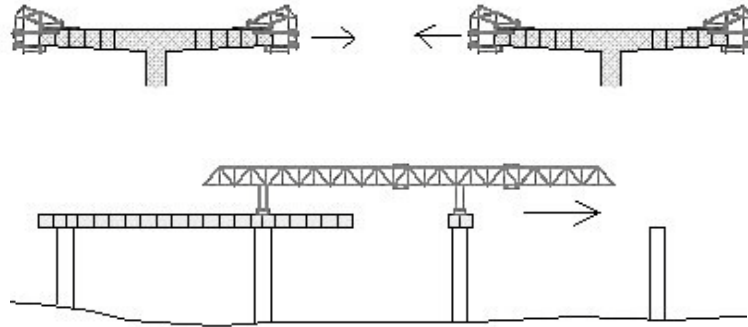


Fig.1.12 Proceso constructivo con cimbra móvil.

(Fuente: <http://www.hispago.com/arquitectura/puentes-de-chicago/puentes-moviles>)

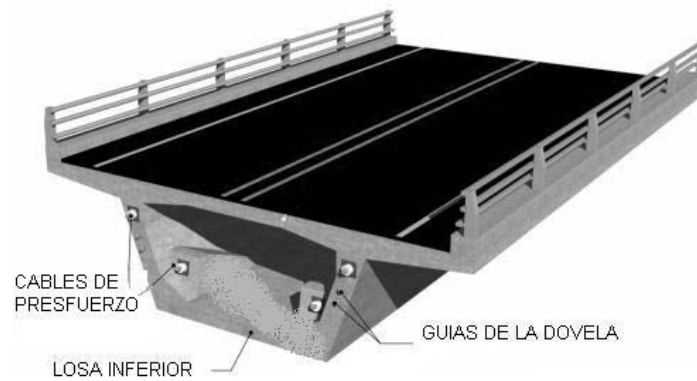


Fig. 1.13 Sección en cajón.

(Fuente: Miguel Madrigal Magaña)

En esta categoría la sección transversal es de tipo cajón debido a su ligereza. Esta sección puede ser utilizada en tres tipos de procesos constructivos como lo son in situ con carros de avance, in situ con carros sobre viga auxiliar o dovelas prefabricadas encoladas.

### PUNTES EMPUJADOS.

En estos puentes la superestructura está formada por dovelas o segmentos que se fabrican en el sitio, en un estribo o en el eje del puente, o en un taller. Cada dovela se ensambla a la dovela anterior, en una plataforma localizada por detrás del estribo de una margen o una ladera. Una vez que la dovela queda unida a la anterior, el conjunto se empuja hacia delante para liberar el sitio que ocupará otra dovela más. El empujado se realiza por etapas sucesivas hasta alcanzar el estribo en la margen o ladera opuesta. A este tipo de puentes se le conoce también como de lanzamiento por incrementos sucesivos. Este procedimiento se desarrollo en Alemania en los años 70'.

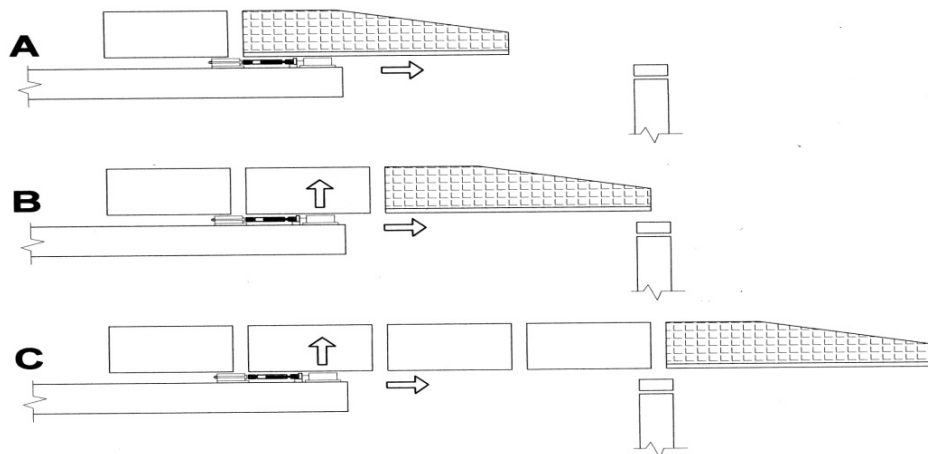


Fig.1.14 Puente empujado.

(Fuente: Manual de diseño de estructuras prefabricadas y presforzadas)



## PUENTES ATIRANTADOS.

La característica de estos puentes es que el tablero de la superestructura es soportado por tirantes o cables inclinados que se anclan a uno o varios mástiles o torres ya que inducen una fuerza axial de compresión en la sección transversal del tablero.

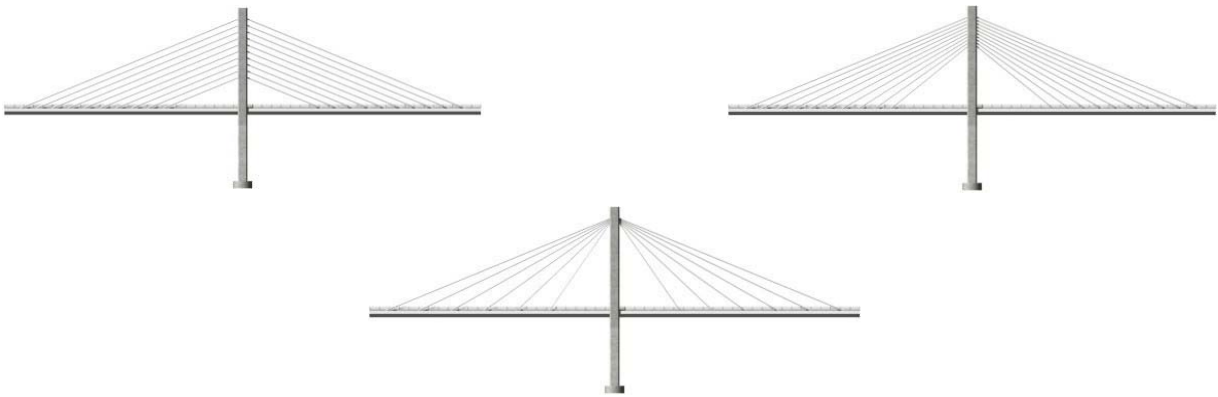


Fig.1.15 Tipos de puentes atirantados.

(Fuente: <http://sunroad.pe.kr>)

Casas (2007), menciona que estos puentes se pueden subdividir a su vez en monocables o multicables. Los primeros son para puentes urbanos con claros moderados mientras que para los de atirantamiento multicable tienen un mayor grado de dificultad en su proceso constructivo así como claros más importantes.

## PUENTES EN ARCO.

En estas estructuras la directriz tiene una configuración curva o poligonal. La carga muerta genera esfuerzos axiales con excentricidades nulas o pequeñas respecto a la directriz en tanto que la carga actuando en sólo una parte del claro o las cargas accidentales generan esfuerzos axiales con excentricidades grandes respecto a la directriz y por lo tanto sollicitaciones de flexión. Por su forma, los puentes de arco pueden ser circulares, circulares compuestos, parabólicos o poligonales. En la siguiente figura se muestran algunos de los componentes.

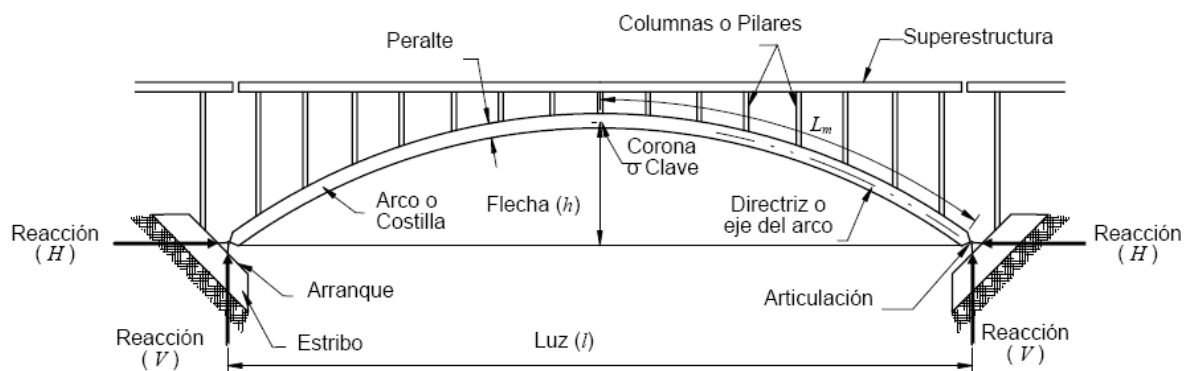


Fig.1.16 Puente en arco.

(Fuente: Secretaría de Comunicaciones y Transportes)

### 1.3.2. Clasificación de puentes de acuerdo a su modo de operación.

Dentro de esta clasificación se puede mencionar dos tipos principalmente, los puentes fijos y los puentes móviles.

## PUENTES FIJOS.

Puentes de viga.- Constan de varios de estos elementos que colocados paralelamente unos a otros con separaciones equidistantes salvan las distancias entre estribos o pilas y soportan el tablero.



Fig.1.17 Vigas de concreto pres forzado.

(Fuente: Miguel Madrigal Magaña)

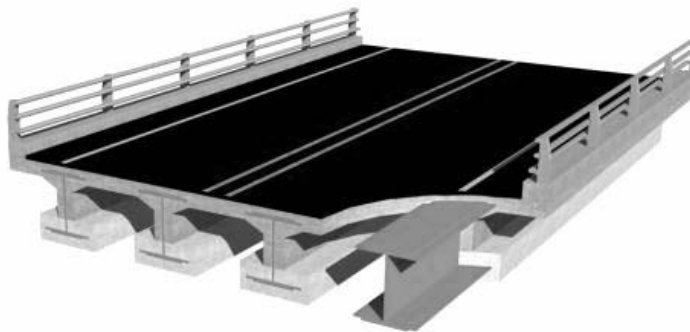


Fig.1.18 Vigas acero.

(Fuente: Miguel Madrigal Magaña)

Puentes de armadura.- Existe una variedad de armaduras que se pueden emplear para puentes. Las de tipo Pratt y Warren son utilizadas en puentes de acero de tramos cortos. La armadura tipo Parker se usa para los vanos largos.

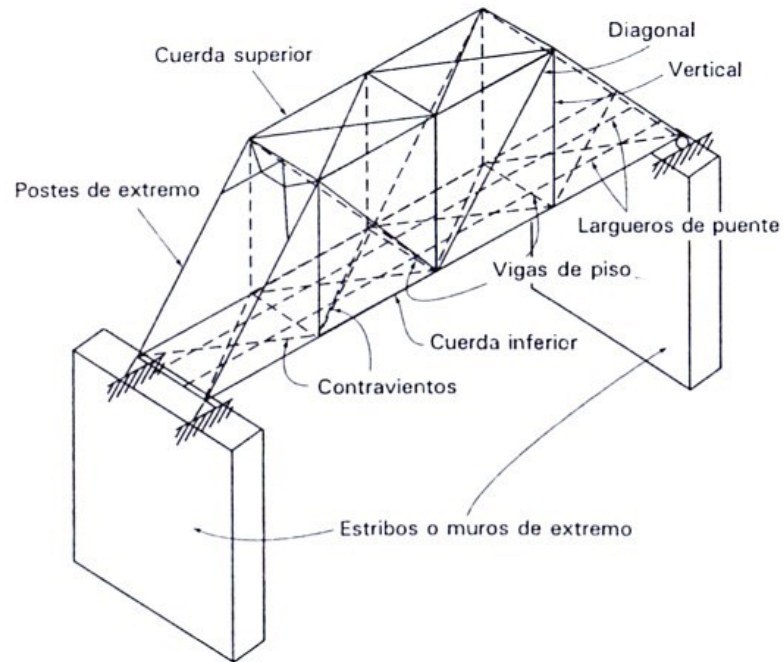


Fig.1.19 Componentes de una armadura de puente tipo Pratt.

(Fuente: McCormac; 2005; 23)

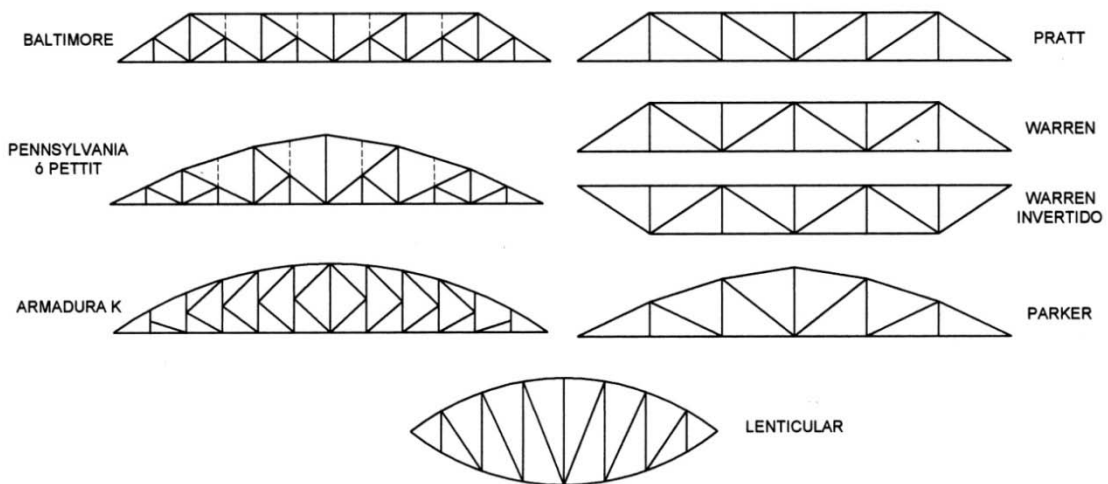


Fig.1.20 Tipos de armaduras.

(Fuente: McCormac; 2005; 23)

Puentes en cantiliver.- Tienen especial aplicación en tramos muy largos. Reciben su nombre de los brazos voladizos (cantiliver) que se proyectan desde las pilas. Los brazos voladizos también pueden proyectarse hacia las orillas para sustentar los extremos de los dos tramos suspendidos.



Fig.1.21 Puente en cantiliver.

(Fuente: <http://www.galeon.com/puentes/tipos/pontscantilever.htm>)

Puentes colgantes.- Salvan los más amplios tramos de todo el mundo. Los principales elementos de estos puentes son sus cables, suspendidos de torres y anclados por sus extremos a los pilares de sujeción.

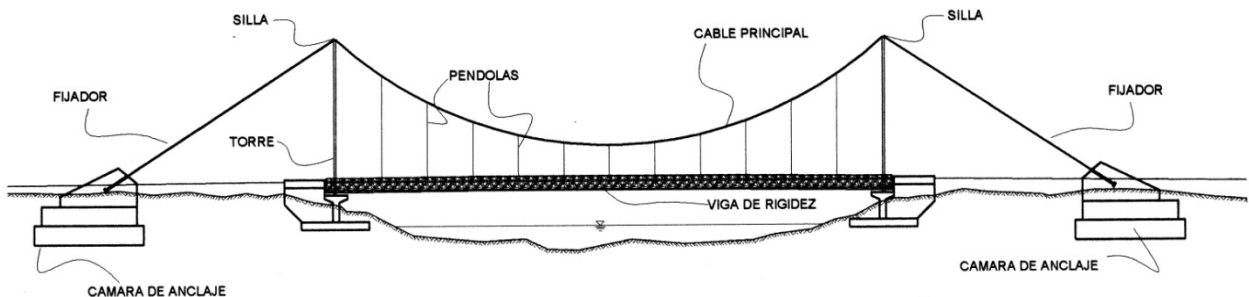


Fig.1.22 Estructuración de puente colgante.

(Fuente: Miguel Madrigal Magaña)



Fig.1.23 Puente colgante en 3 dimensiones.

(Fuente: <http://sunroad.pe.kr>)

Puentes de pontones.- Son puentes flotantes que se apoyan sobre flotadores y por ello no tienen el arraigo en la tierra que toda obra fija debe tener. Los flotadores pueden ser más o menos grandes para reducir su movilidad y se puede conseguir que sus movimientos sean incluso menores que los de algunos puentes fijos, pero ello no elimina ese carácter de elemento flotante sometido a los movimientos del agua; hay siempre un movimiento relativo entre el puente y los apoyos fijos de las orillas.

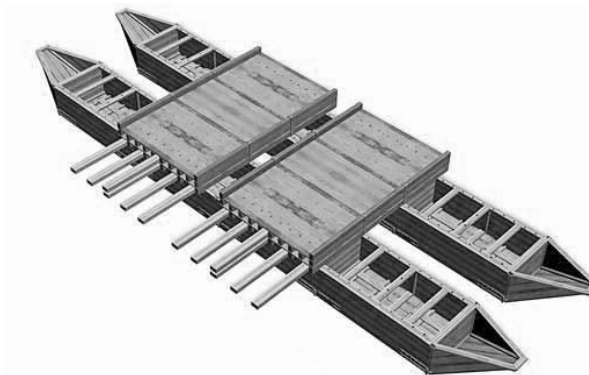


Fig.1.24 Puente de pontones.

(Fuente: Miguel Madrigal Magaña)

## PUENTES MÓVILES.

Se utiliza este tipo de puentes donde se requiere el paso de algún tipo de embarcación, dentro de esta categoría hay tres tipos los cuales son:

Puentes de elevación vertical.- Utilizan cables, poleas, motores, y contrapesos para levantar una sola sección del puente en forma vertical como si fuera un elevador, mientras esto sucede se suspende el trafico vehicular para que pase la embarcación.

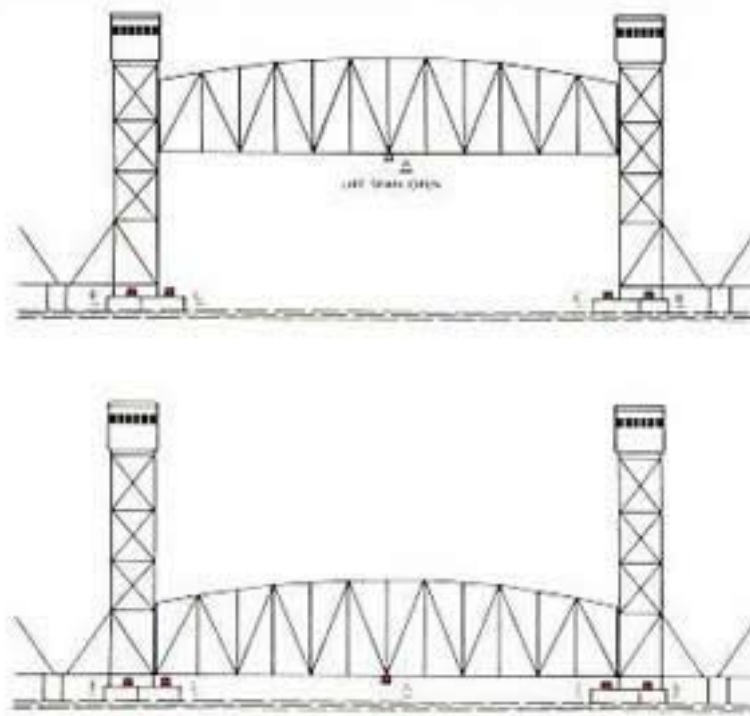


Fig.1.25 Puente de elevación vertical.

(Fuente: <http://www.hispago.com/arquitectura/puentes-de-chicago/puentes-moviles>)

Puentes basculantes.- Estas estructuras se dividen en dos secciones que están sujetadas a los extremos y unidas en el centro cuando hay transito vehicular. Una vez que tiene que pasar una embarcación por debajo del puente se separan del

centro y giran de manera radial sobre sus ejes que se encuentran en los extremos abriendo las 2 secciones hacia arriba y permitiendo el paso de la embarcación.

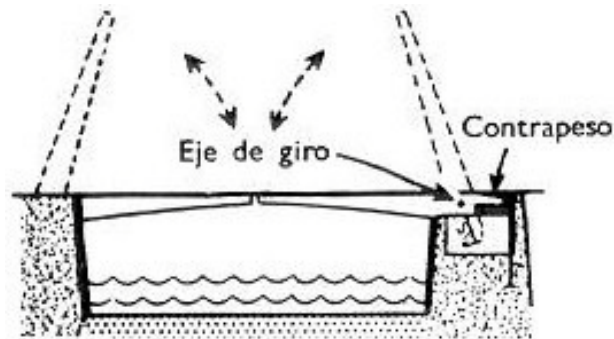


Fig.1.26 Puente basculante.

(Fuente: <http://sanpe.blogspot.es/>)

Puentes de oscilación.- Estos puentes rotan sus secciones sobre su eje o pedestal permitiendo la circulación de los barcos por el río.

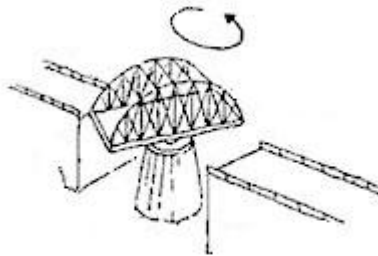


Fig.1.27 Puente de oscilación.

(Fuente: <http://www.hispago.com/arquitectura/puentes-de-chicago/puentes-moviles>)

Puentes deslizantes.- Estos puentes se desplazan en el sentido del eje de la vialidad o sea longitudinalmente sobre rodillos, avanzando o retrocediendo en voladizo libre hasta llegar al apoyo de la otra orilla.



### **1.3.3. Clasificación de puentes de acuerdo a su tipo estructural.**

Esta clasificación atiende al comportamiento estático de los puentes ya que estos pueden ser simplemente apoyados o continuos, o una combinación de ambos como lo es los puentes tipo Gerber.

#### **PUENTES SIMPLEMENTE APOYADOS.**

Los puentes simplemente apoyados requieren pilas mas anchas además de necesitar dos apoyos y juntas de expansión.

#### **PUENTES CONTINUOS.**

En los puentes continuos se reduce la magnitud del momento flexionante positivo al centro del claro, por lo que se pueden obtener claros mas largos con el mismo peralte de las trabes. Las principales ventajas de los puentes continuos son:

- ✓ Menor peralte que los puentes simplemente apoyados.
- ✓ Se requiere un menor número de apoyos.
- ✓ Menos juntas constructivas, con la ventaja evidente de lograr una superficie de rodamiento sin interrupciones.
- ✓ La deflexión y las vibraciones son menores.

Las desventajas de los puentes continuos son las siguientes:

- ✓ Los asentamientos diferenciales pueden causar efectos importantes en toda la estructura, por lo que su uso no se recomienda en estructuras sobre suelos blandos.

- ✓ La colocación del refuerzo es más complicada.
- ✓ El análisis y diseño son más complejos.

#### PUENTES TIPO GERBER.

Este tipo de puentes es una combinación de los anteriores, el cual consiste en colocar una trabe central simplemente apoyada justo en los sitios correspondientes a los puntos de inflexión, momento igual a cero, de una viga continua. Este es un sistema adecuado para usar elementos pretensados en esa viga central y otros con las mismas características, ya sean también pretensados, reforzados o postensados colados en sitio, formando el voladizo o cantiliver.

#### **1.3.4. Puentes con elementos prefabricados y presforzados.**

Es conveniente tener un enfoque al diseño de puentes típicos construidos con elementos prefabricados y presforzados debido a que el presente trabajo recae dentro de esta categoría.

Se pueden definir algunos tipos de puentes de acuerdo a la forma de la sección de la superestructura como pueden ser; traveses cajón, traveses I AASHTO, vigas T, losas planas aligeradas, losas planas macizas, losas apoyadas sobre traveses colados en sitio, losas apoyadas sobre traveses prefabricados o losas apoyadas en vigas de acero.

#### **1.3.4.1. Concreto presforzado.**

El presfuerzo consiste en imponer a una estructura esfuerzos internos que son de carácter opuesto a los causados por cargas de servicio o de trabajo con el fin de aumentar su resistencia.

El presfuerzo se usa principalmente en las vigas de concreto para contrarrestar los esfuerzos de tensión causados por el peso propio del elemento y la carga sobrepuesta. En el diseño de una estructura con el presfuerzo es posible utilizar las secciones enteras de los miembros para resistir las cargas, a diferencia del concreto reforzado donde sólo una porción de las secciones transversales de los miembros a flexión podía considerarse eficaz para resistir cargas. Los materiales que se utilizan en estos elementos son el concreto y el acero de alta resistencia.

Existen dos modalidades para el empleo de este concreto las cuales pueden ser pretensado y postensado. En el pretensado los tendones se tensan antes de colar el concreto, posteriormente los tendones se cortan y la fuerza de presfuerzo se transmite al concreto por adherencia. En el caso del postensado los tendones se tensan después de colar el concreto, se colocan en la cimbra conductos con los tendones dentro de ellos, una vez que ha fraguado el concreto los tendones se estiran y se les une mecánicamente a dispositivos de anclaje colocados en los extremos para mantenerlos estirados. En este caso las fuerzas de presfuerzo se transmiten por apoyo extremo.

#### **1.4. Algunos puentes construidos con elementos prefabricados en México.**

En México se han construido algunos puentes en base a elementos prefabricados de relevante importancia, mismos que se encuentran dispersos en toda la república. En lo consiguiente se mencionan algunos puentes construidos en la de década de los años noventas.

El puente Quetzalapa ubicado en la autopista México-Acapulco es del tipo atirantado y tiene una longitud total de 424m. La superestructura esta formada con elementos prefabricados.

El puente Zacatal que se encuentra en ciudad del Carmen Campeche tiene una longitud de 3 861m. En su momento fue el puente de más longitud en América Latina construido sobre el mar, esta formado entre otros elementos con 496 traveses AASTHO tipo IV modificado y 8 traveses cajón.

En el puente Amacuzac que se ubica en el estado de Morelos se emplearon elementos presforzados tipo AASTHO VI.

Un puente construido en el estado de Michoacán donde se emplearon elementos tipo AASTHO fue el puente para la termoeléctrica Petacalco el cual tiene una longitud mayor a los 2km.

Otros ejemplos del empleo de elementos prefabricados, es el puente Ceylan en el Estado de México, ayuntamiento 2000 en el estado de Morelos, Tláhuac en la ciudad de México, Valtierra en León Guanajuato, entre otros.

### **1.5. Normas de diseño.**

Por lo regular en la mayoría de los casos el diseño de estructuras está controlado por especificaciones. No importando la experiencia que tenga el ingeniero proyectista siempre debe considerar los códigos establecidos por organismos encargados de la supervisión y control de construcciones de iniciativa pública o privada.

Los mencionados códigos pueden variar de ciudad en ciudad, mas sin embargo algunas de las normas técnicas locales hacen referencia a normas de uso internacional. Tal es el caso de las normas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) de México que hace referencia constantemente a las normas de la American Association of State Highway and Transportation Officials AASHTO que son de origen Estadounidense.

“Los reglamentos de construcción son leyes o normas que especifican y regulan las cargas y los esfuerzos de diseño así como los tipos de construcción, la calidad de los materiales y otros factores” (McCormac; 2002; ).

El EUROCODIGO es una normatividad que regula las construcciones en la unión europea el cual es importante considerar.

Los puentes se deben de diseñar de manera que no sean susceptibles de sufrir daños causados por sismos. De acuerdo con lo que menciona Jara (2006), para implementar un dispositivo se recomienda tomar en cuenta el manual de diseño MENSIN que es la primera guía para el diseño de puentes con aislamiento sísmico en Japón.

Lo más sobresaliente en la elaboración de un proyecto es el uso adecuado en la normatividad tanto en el proyecto ejecutivo como en el proceso constructivo. El objetivo de las leyes, códigos, normas y reglamentos es proporcionar seguridad a las construcciones y con ello proteger a la población al disminuir los niveles de riesgo en los casos de desastres naturales evitando en la medida de lo posible pérdidas humanas y daños materiales.

## CAPÍTULO 2

### HISTORIA Y EVOLUCIÓN DE LOS PUENTES

Los avances en el proyecto y cálculo de este tipo de estructuras han sido bastantes a lo largo de la historia, mismos que se han visto influenciados por los materiales disponibles en el área, las técnicas desarrolladas y el factor económico entre otros. Los puentes se considera que son parte de las construcciones de orígenes más antiguos en la historia de la humanidad.

#### 2.1. Los primeros puentes.

Quizá los primeros puentes fueron construidos por hombres prehistóricos los cuales derribaron un árbol de tal forma que al caer enlazara los dos extremos de una barranca o un río de tal manera comunicaban ambos lados. También es notable resaltar que pudieron utilizar rocas alargadas para librar pequeños cauces.



Fig.2.1 Árbol caído.

(Fuente: <http://www.geocities.com>)

Existieron puentes colgantes fabricados con un entramado de lianas y hierbas que han llegado hasta nuestros días, que posiblemente sean semejantes a los que se construían en la prehistoria. (www.arquitectuba.com.ar).

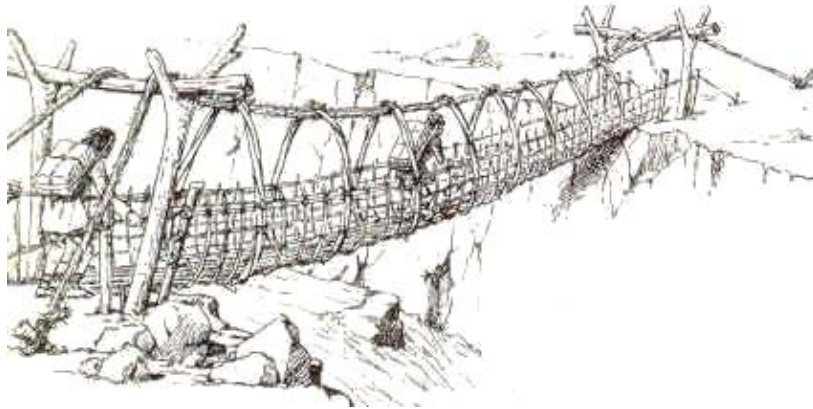


Fig.2.2 Puente de lianas.

(Fuente: <http://www.geocities.com>)

## **2.2.Evolución de los puentes.**

El hombre al paso de los años ha ido perfeccionando sus conocimientos y, gracias a su capacidad analítica a mejorado tanto las técnicas de construcción como el empleo de los distintos materiales.



### 2.2.1. Puentes de roca.

Después de la prehistoria los romanos fueron grandes constructores de puentes ya que aprovecharon las características beneficiosas de la geometría en arco, que trabaja fundamentalmente a compresión, y puede ser utilizado para vencer claros de hasta 10m.

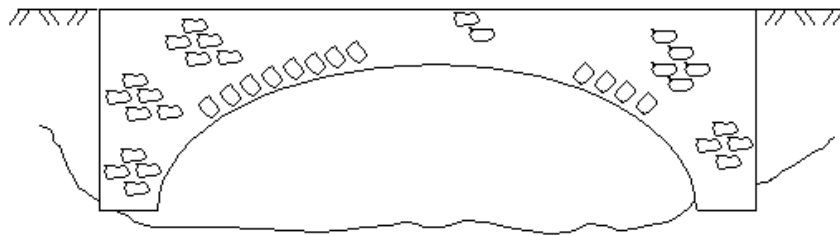


Fig.2.3 Puente de roca.

(Fuente: <http://www.geocities.com>)

### 2.2.2. Puentes de madera.

En determinado momento el hombre convirtió el árbol en elementos estructurales como son las vigas y columnas, las cuales, al darles un acomodo apropiado, se han hecho estructuras en caminos rurales, capaces de soportar cargas como lo es el paso de una carreta o vehículos livianos. También sean hecho para el paso de peatones. El principal problema de los puentes de madera ha sido el mantenimiento para que tengan un tiempo de vida aceptable, esa es una de las razones por las cuales sea abandonado su empleo. Los claros que pueden salvar este tipo de estructuras van del orden de 20m no obstante la madera es utilizada como cimbra en el proceso constructivo que se lleva a cabo para hacer puentes de concreto.

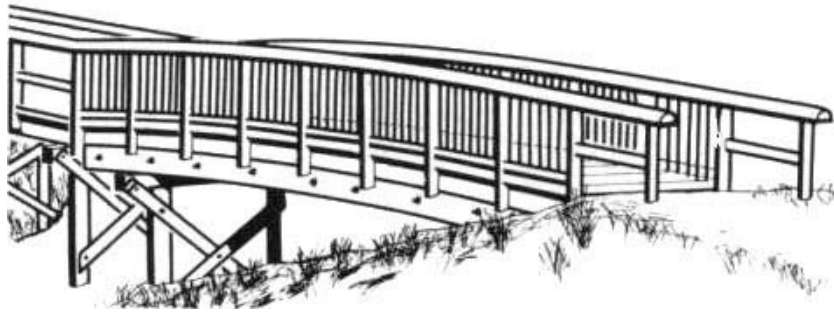


Fig.2.4 Puente de madera.

(Fuente: <http://www.harms-betonwerk.de/produkte.htm>)

### **2.2.3. Puentes de concreto reforzado.**

Desde el punto de vista de Frías (2007), Los puentes de concreto reforzado conforman el 62% del total de los puentes que forman parte de la red federal libre de peaje, lo cual indica que definitivamente este tipo de estructuras han sido los que mayor auge han tenido en México. El claro que pueden salvar es del orden de 25m. Claros mayores pueden ser inconvenientes por el incremento desmedido de su peso, la experiencia que se tiene en el manejo del concreto reforzado y también la disponibilidad de los materiales ha permitido su construcción en todas las regiones del país.

### **2.2.4. Puentes de concreto presforzado.**

Con la invención en 1933 del concreto presforzado, gracias al ingeniero francés Eugene Freyssinet, se permitió superar parcialmente las limitaciones de los puentes

de concreto armado llegándose a implementar soluciones viables en puentes con claros de 45m, la reducción del peso de la estructura es el efecto más importante en los puentes de concreto presforzado, según Frías (2007), estas estructuras ocupan el segundo lugar con un 22% del total de los puentes que forman parte de la red federal libre de peaje en México.

#### **2.2.5. Puentes de acero.**

Con este tipo de puentes se han alcanzado claros importantes. Los puentes sobre vigas metálicas pueden vencer claros de hasta 45m, mientras que con puentes metálicos en celosías se han alcanzado los 80m y con puentes metálicos en arco se han llegado hasta 100m. Los puentes construidos en una combinación de concreto y acero ocupan el 8%, mientras que los puentes construidos únicamente de acero ocupan sólo el 5% del total de los puentes que forman parte de la red federal libre de peaje en México.

#### **2.2.6. Puentes de gran longitud.**

Los diseños modernos de carreteras y autopistas imponen condiciones muy exigentes de pendiente, curvatura y altura sobre los cauces, lo que unido a la topografía existente en el país define la necesidad de diseñar y construir puentes de este tipo.

En estos casos la colocación de un sinnúmero de pilas intermedias para reducir los claros puede resolver el problema de la presencia de grandes longitudes. En

otras ocasiones este tipo de solución puede traer grandes complicaciones, como la necesidad de construir muchas pilas esbeltas con longitudes del orden de los 100m o más en la sierra, o la construcción de pilas donde los ríos tienen un comportamiento impredecible.

La construcción de pilas de gran longitud no es en si el problema más importante, pero con un número exagerado de las mismas se volvería poco práctico un proyecto de puente desde el punto de vista técnico-económico. En algunos de estos casos la única alternativa válida consiste en otros medios de diseño y construcción como los puente colgantes, atirantados o de concreto presforzado en voladizos sucesivos.

Los puentes preesforzados en volados sucesivos, para tráfico vehicular, son técnica y económicamente convenientes para claros comprendidos entre 80m y 220m. Los puentes atirantados son competitivos con claros entre 150m y 400m los puentes colgantes, por su parte, pueden ser convenientes para luces superiores a los 250m.

### **2.3. Puentes contemporáneos.**

Actualmente se construyen puentes principalmente con alambres, torones y cables de acero, concreto reforzado, concreto presforzado o bien con una combinación de estos materiales, resultando estructuras dignas de admirar debido a la complejidad de su diseño. Pero no por eso se deben menos preciar algunos

puentes que se hacen en México, por lo regular en comunidades rurales donde se construyen puentes de mampostería de roca en forma de arco. La roca se usa por ser un material disponible en la localidad y por lo tanto es económico.

Gracias a los adelantos tecnológicos en la etapa de planeación como en el proceso constructivo se pueden apreciar estructuras como lo es el viaducto Millau que tiene una longitud de 2 460m y se ubica en Francia. Otro buen ejemplo de los adelantos en la ingeniería de puentes se ve reflejado en el puente colgante Akashi-Kayko en Japón que tiene un galibo horizontal o claro de 1 991m y una longitud total de 3 910m.



Fig.2.5 Viaducto Millau en Francia.

(Fuente: <http://abelgalois.files.wordpress.com/2008/08/m4.jpg>)



Fig.2.6 Puente colgante Akashi Kayko en Japón.

(Fuente: [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f1/Akashi\\_Bridge.JPG](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f1/Akashi_Bridge.JPG))

Otros puentes de gran magnitud, sobresalientes en su tipo, son los puentes Tataro en Japón, Wanshan en China, Québec en Canadá y Shibanye en China.

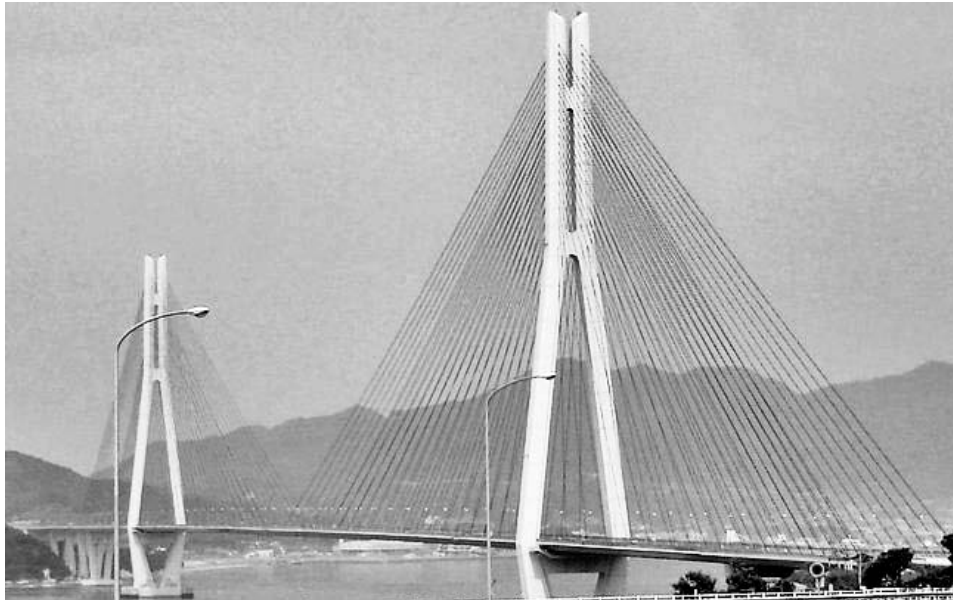


Fig.2.7 Puente colgante Akashi Kayko en Japón.

(Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:TataroHashi.jpg>)



Fig.2.8 Puente Wanshan en China.

(Fuente: [http://caminos.udc.es/info/asignaturas/622/contenido\\_publico/recursos](http://caminos.udc.es/info/asignaturas/622/contenido_publico/recursos))



Fig.2.9 Puente Québec en Canadá.

(Fuente: <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=185595&page=3>)

“Actualmente el ejército de los Estados Unidos ha construido un puente hecho totalmente de plástico reciclado con poco o ningún mantenimiento capaz de soportar 70 ton además de haber sido diseñado para una vida útil de 50 años” ([www.saiemexico.com.mx](http://www.saiemexico.com.mx)).

En un futuro se usarán materiales de alta resistencia como la fibra de carbono de  $f_{su} = 3790 \text{ M}_{pa}$  y se tienen otros materiales bajo investigación donde se alcanzan  $f_{su} = 100000 \text{ M}_{pa}$ .

## **2.4. Protección sísmica de estructuras.**

México es susceptible de sufrir daños debido a fenómenos naturales, pero el fenómeno más recordado y el que más daño causó a las estructuras en los últimos años es el sismo que ocurrió en la ciudad de México en el año de 1985. En este sismo hubo pérdidas importantes tanto materiales como humanas es por ello que se busca la manera de mitigar los daños haciendo estructuras más seguras lo cual se logra implementando sistemas de control mediante dispositivos.

### **2.4.1. Sistemas de control.**

Son medios que proporcionan suficiente resistencia a una estructura y aseguran un comportamiento satisfactorio para diferentes niveles de intensidad sísmica. Los dispositivos de control se agrupan principalmente en función de su forma de trabajo en dispositivos de control pasivo y activo.



### 2.4.1.1 Dispositivos de control en puentes.

Se puede apreciar en la siguiente figura la diferencia entre usar y no usar un sistema de control en presencia de un sismo. Durante el mismo las estructuras requieren ductilidad para disipar la energía, de lo contrario pueden presentar grietas y esto conlleva a un daño importante como en la figura de puente siguiente.

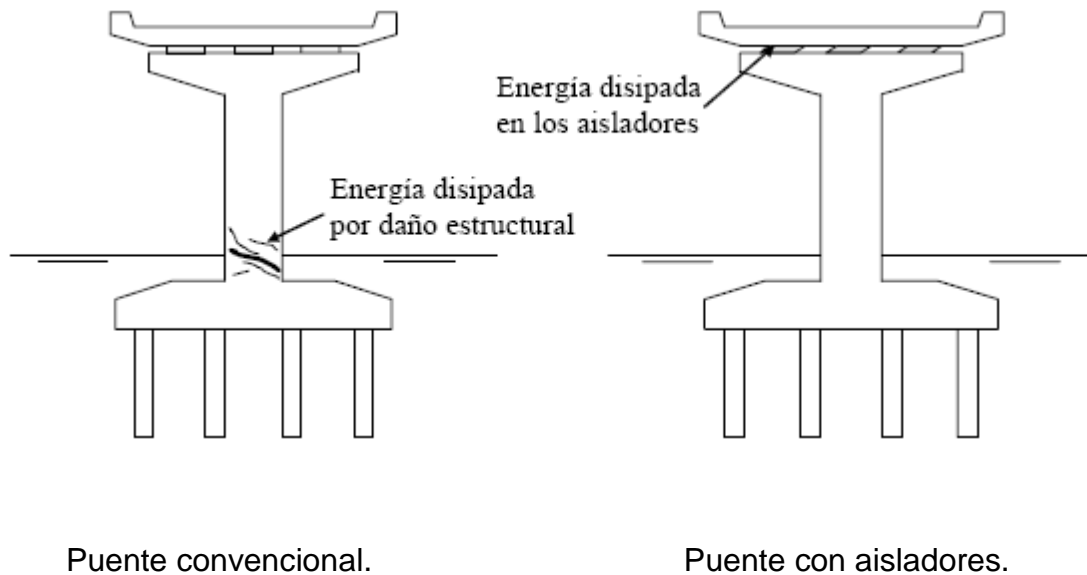


Fig.2.10 Estructuras con presencia de sismo.

(Fuente: Jara; 2006; 13)

En figura donde aparece el puente con aisladores se presenta el caso de un puente con un sistema de control consistente, por ejemplo, en apoyos de hule laminados con un corazón de plomo, con los que logra reducir las fuerzas de inercia

en las pilas del puente. “La disipación de energía inelástica que se demanda en un sismo extremo, se realiza por medio de la deformación histerética de los apoyos, en lugar de hacerlo a través del daño en las pilas del puente” (Jara, 2006, 12).

Dentro de los dispositivos de control pasivo se encuentran los aisladores de base que son los más usados para estas estructuras, son elementos que se colocan entre la subestructura y la superestructura para procurar aislar el movimiento del terreno de la estructura.



Fig.2.11 Aislador de base.

(Fuente:[http://www.sirve.cl/informacion\\_tecnica/aislacion\\_sismica/imagenes\\_IT\\_aislacion/partes\\_del\\_aislador.jpg](http://www.sirve.cl/informacion_tecnica/aislacion_sismica/imagenes_IT_aislacion/partes_del_aislador.jpg))

En este tipo de estructuras es común ver que también se emplean los apoyos de neopreno y los apoyos deslizantes los cuales permiten los movimientos horizontales del tablero en el puente provocados por los cambios de temperatura.

## **CAPÍTULO 3**

### **REGLAMENTACIÓN Y NORMATIVIDAD**

La normativa para la infraestructura del transporte de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), es el conjunto de criterios, métodos y procedimientos para la correcta ejecución de los trabajos.

#### **3.1. Nomenclatura de la normativa de la SCT.**

Para lograr dar un orden, así como para lograr el propósito de dicha normativa, los conceptos que se manejan en ella y la información están configurados bajo los siguientes apartados.

##### **3.1.1. Tipos de publicaciones.**

La normativa de la SCT se presenta en tres tipos de publicaciones que son normas (N), manuales (M) y prácticas recomendables (R).

Las normas designadas por la letra (N) proponen valores específicos para diseño; las características y calidad, de los materiales y de los equipos de instalación permanente, así como las tolerancias en los acabados.

Los Manuales se designan por la letra (M) contienen el compendio de los métodos y procedimientos para la realización de todas las actividades relacionadas con la infraestructura del transporte.

Las Prácticas Recomendables designadas por la letra (R) proponen y explican el establecimiento de criterios y la aplicabilidad de teorías a casos específicos, de Manera que el usuario tenga elementos para seleccionar los métodos o procedimientos de entre los contenidos en los Manuales.

### **3.1.2. Libros.**

Las Normas, Manuales y Prácticas Recomendables que se mencionan anteriormente, se organizan según su temática, en doce Libros, identificados mediante las siguientes claves.

| LIBRO                           | CLAVE |
|---------------------------------|-------|
| INTRODUCCIÓN                    | INT   |
| LEGISLACIÓN                     | LEG   |
| PLANEACIÓN                      | PLN   |
| DERECHO DE VÍA Y ZONAS ALEDAÑAS | DRV   |
| PROYECTO                        | PRY   |
| CONSTRUCCIÓN                    | CTR   |
| CONSERVACIÓN                    | CSV   |
| OPERACIÓN                       | OPR   |

|  |     |
|--|-----|
| CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE CALIDAD                                     | CAL |
| CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES                                      | CMT |
| CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS Y SISTEMAS DE<br>INSTALACIÓN PERMANENTE | EIP |
| MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES                             | MMP |

### **3.1.3. Temas.**

Los libros PLN, DRV, PRY, CTR, CSV, Y OPR, se dividen en cinco Temas que se identifican mediante las claves que se indican a continuación:

| TEMA                   | CLAVE |
|------------------------|-------|
| Carreteras             | CAR   |
| Aeropuertos            | AER   |
| Ferrocarriles          | FER   |
| Puertos                | PUE   |
| Edificaciones Diversas | EDV   |

### **3.1.4. Presentación.**

Los Temas o directamente los Libros que no están divididos por Temas, a que se refieren los apartados anteriores, se fraccionan en Partes, mismas que generalmente se dividen en Títulos y éstos a su vez, cuando es necesario, se separan en Capítulos. Los Capítulos son la subdivisión independiente más pequeña.

De acuerdo a lo anterior La designación "M-PRY-CAR-6-01-008/04" indica los siguiente; M Indica, es un manual.

PRY Pertenece al libro de proyecto.

CAR El tema es carreteras.

6 Parte 6, referente al proyecto de puentes y estructuras.

01 El titulo es proyecto de nuevos puentes y estructuras similares.

008 El capitulo, consideraciones para puentes especiales.

04 Indica el año de publicación, es 2004.

### **3.2. Normativa para proyecto de puentes.**

Debido a que el presente trabajo esta dedicado a un puente en específico es necesario presentar la normativa referente a puentes, vigente en México.

Esta normativa se encuentra dentro del libro de proyecto bajo el tema de carreteras en la parte 6 que esta destinado al proyecto de puentes y estructuras de la normativa de SCT.

N-PRY-CAR-6-01-001/01

Esta Norma contiene los criterios para la ejecución de los proyectos de las estructuras que permiten la continuidad del tránsito sobre un obstáculo.

N·PRY·CAR·6·01·002/01

Esta Norma contiene criterios para la determinación de las características generales necesarias para el diseño de puentes y estructuras similares a que se refiere la Norma N·PRY·CAR·6·01·001.

N·PRY·CAR·6·01·003/01

Esta Norma contiene los criterios generales para determinar las cargas y acciones a que se refiere en la Norma N·PRY·CAR·6·01·001.

N·PRY·CAR·6·01·004/01

Esta Norma contiene los criterios generales para determinar las cargas eventuales debidas a la acción del viento, que actúan en puentes y estructuras similares.

N·PRY·CAR·6·01·005/01

Esta Norma contiene los criterios generales para determinar las cargas eventuales debidas a la acción de los sismos, que actúan en puentes y estructuras similares, conforme a lo indicado en la Norma N·PRY·CAR·6·01·001.

N·PRY·CAR·6·01·006/01

Esta Norma contiene los criterios generales para definir las combinaciones de cargas a que se refiere la Norma N·PRY·CAR·6·01·001.

N-PRY-CAR-6-01-007/04

Esta Norma contiene los criterios generales para cuantificar los efectos de la carga viva en sistemas de piso de superestructuras de puentes y estructuras similares, a que se refiere la Norma N-PRY-CAR-6-01-001, mediante el procedimiento simplificado denominado distribución de cargas, señalando las limitaciones para su aplicación y mencionando los métodos especiales de análisis estructural que se aplican cuando la estructura no satisface dichas limitaciones, para proyectos que realice la Secretaría con recursos propios o mediante un Contratista de Servicios.

M-PRY-CAR-6-01-008/04

Este Manual contiene el procedimiento para el análisis y diseño de puentes especiales.

N-PRY-CAR-6-01-009/04

Esta Norma contiene los criterios generales para la presentación de los proyectos estructurales de nuevos puentes y estructuras similares que realice la Secretaría, conforme a lo establecido en la Norma N-PRY-CAR-6-01-001.

Es indispensable contar con estudios previos del lugar donde se va llevar a cabo una obra como lo es un puente, como lo son los estudios hidrológicos, de topografía etc. para tales estudios, la SCT contempla algunas normas las cuales en el presente trabajo solo se mencionaran debido a que el empleo de estas normas y manuales referentes a los estudios previos para puentes no son el objetivo de la presente tesis.



N·PRY·CAR·1·06·001/00

Esta Norma contiene los criterios para la ejecución de los estudios hidráulico-hidrológicos para puentes que realice la SCT, para el diseño hidráulico de esas estructuras.

N·PRY·CAR·1·06·002/00

Esta Norma contiene los criterios generales para ejecutar los trabajos de campo necesarios para la elaboración del estudio hidráulico-hidrológico para puentes.

N·PRY·CAR·1·06·003/00

Esta Norma contiene los criterios generales para ejecutar el procesamiento de información que se indica en la Norma N·PRY·CAR·1·06·001, para determinar las características fisiográficas e hidrológicas de la cuenca en estudio, con base en la información disponible y todos los datos que se obtengan del reconocimiento de campo y del levantamiento topográfico con el propósito de elaborar el diseño hidráulico de puentes.

M·PRY·CAR·1·06·003/00

Este Manual contiene los procedimientos para procesar, conforme a lo señalado en la Norma N·PRY·CAR·1·06·003, la información disponible y todos los datos que se obtengan del reconocimiento de campo y del levantamiento topográfico para la elaboración del estudio hidráulico-hidrológico para puentes.

#### N·PRY·CAR·1·06·004/00

Esta Norma contiene los criterios generales para ejecutar los análisis hidrológicos que se indican en la Norma N·PRY·CAR·1·06·001, para determinar, con base en la información procesada según se establece en la Norma N·PRY·CAR·1·06·003, los gastos que han de utilizarse en el diseño del puente.

#### M·PRY·CAR·1·06·004/00

Este Manual contiene los procedimientos comúnmente empleados para los análisis hidrológicos a que se refiere la Norma N·PRY·CAR·1·06·004, para determinar los gastos que se utilizarán en el diseño hidráulico del puente.

#### N·PRY·CAR·1·06·005/00

Esta Norma contiene los criterios generales para ejecutar los análisis hidráulicos que se indican en Norma N·PRY·CAR·1·06·001, para determinar, con base en los gastos obtenidos como se establece en la Norma N·PRY·CAR·1·06·004, los niveles, tirantes y velocidades de la corriente en estudio, en el lugar donde se construirá el puente.

#### M·PRY·CAR·1·06·005/00

Este Manual contiene los procedimientos para realizar los análisis hidráulicos a que se refiere la Norma N·PRY·CAR·1·06·005, para determinar los gastos y sus correspondientes niveles, tirantes y velocidades.

N.PRY.CAR.1.06.006/00

Esta Norma contiene los criterios para la presentación del estudio hidráulico-hidrológico para puentes.

## **CAPÍTULO 4**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

El presente capítulo describe la metodología llevada a cabo para la investigación que se realizó en este trabajo, la cual se basa en la aplicación del método científico y de esta forma se garantiza que tiene un soporte en la ciencia lo cual permite que sea fiable y verídica.

Además se menciona el enfoque y diseño que se le dio a la investigación, se detallan las herramientas o instrumentos de recopilación de información de datos, de la misma forma se hace una descripción del procedimiento que se llevo a cabo para la realización de este trabajo.

#### **4.1. Enfoque de la investigación.**

Atendiendo a lo que menciona Hernández (2008) el presente trabajo tiene un enfoque cuantitativo debido a que éste utiliza la recopilación de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico para establecer patrones de comportamiento y así probar teorías.

Lo más significativo de este enfoque cuantitativo es:

- ✓ Plantea un problema de estudio delimitado y concreto.
- ✓ Revisa lo que se ha investigado anteriormente.
- ✓ Sobre la base de la revisión constituye un marco teórico.
- ✓ Deriva hipótesis sobre la teoría en estudio.
- ✓ Somete a prueba las hipótesis.
- ✓ Para la obtención de los resultados se recolectan datos numéricos y se estudia y se analiza mediante procedimientos estadísticos.

La investigación con un enfoque cuantitativo debe ser muy objetiva ya que este tipo de estudios siguen un patrón predeterminado y estructurado. "Al final, con los estudios cuantitativos se pretende explicar y predecir los fenómenos investigados buscando regularidades y relaciones causales entre los elementos" (Hernández; 2008:6).

Es de gran importancia para este trabajo tener un enfoque cuantitativo ya que en la etapa de la comprobación de la hipótesis planteada para la solución de la problemática los estudios que se realizan son repetitivos y similares, permitiendo tener una visión clara de la variación entre un análisis y otro.

El método cuantitativo es el más utilizado en ciencias exactas o naturales como es el caso de la ingeniería civil, además es secuencial y probatorio, cada etapa es continua y se debe llevar un orden.

#### **4.1.1. Alcance.**

En este caso la investigación tiene un alcance de tipo descriptivo.

El estudio descriptivo pretende medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieran. Por consiguiente "La investigación descriptiva busca especificar propiedades, características y rasgos importantes de cualquier fenómeno que se analice" (Hernández; 2008:103)

Los estudios descriptivos permiten la posibilidad de hacer un pronóstico en base a lo ya establecido con la combinación de nuevos factores, de acuerdo a Hernández (2008),

Se infiere que este documento es de investigación tipo descriptiva porque gracias a la diversificación de resultados que ofrece el analizar las características geométricas de la super y sub estructura en el puente, se puede predecir si la estructura es capaz de soportar las cargas que demanda el tránsito de vehículos.

#### **4.2. Diseño de la investigación.**

La investigación, de tipo no experimental cuantitativa no permite la manipulación de las variables, lo que sí permite es observar fenómenos tal cual se dan naturalmente y posteriormente se analizan.

En un estudio no experimental no se construye ninguna situación, sino q se observan las situaciones ya existentes y que no sean provocadas por quien realiza la investigación.

En la investigación de tipo no experimental las variables independientes simplemente ocurren, y no es posible alterarlas pues no existe un control directo sobre ellas por el hecho de que ya ocurrieron por igual sus efectos.

En el presente estudio no se lleva a cabo ningún experimento físico pues sólo se analiza cómo será el comportamiento de las variables por medio de software sin alterarlas físicamente.

#### **4.2.1. Investigación transeccional.**

El diseño de la investigación transeccional o conocida también como investigación transversal, recolecta datos en un sólo momento en un tiempo único es decir aquí y ahora.

El propósito de este tipo de investigación es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento específico.

El diseño transeccional se divide en tres partes, exploratorio, descriptivo y correlacional ó causal.

En la presente tesis la información que se presenta es de tipo transeccional debido que en la actualidad la superestructura de la mayoría de los puentes en la región se construye con elementos prefabricados pero esto no significa que a la postre los puentes se diseñen con otros sistemas constructivos.

#### **4.3. Instrumentos de recopilación de datos.**

Dentro del proceso llevado a cabo en la investigación se recurrió a diversas fuentes bibliográficas dentro de las cuales se encuentran la normatividad para la infraestructura del transporte de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes de las cuales se tomaron los criterios base que rigen el diseño de la estructura, así como también se extrajo información del manual de diseño de estructuras prefabricadas y presforzadas de donde se toman en cuenta recomendaciones de diseño para los elementos tipo viga.

El empleo del software en el presente trabajo se inicio con el uso de la herramienta de dibujo asistido por computadora llamado CIVIL CAD el cual permitió procesar la información recabada en campo producto del levantamiento topográfico de donde se extrae el perfil de la depresión topográfica donde se localiza el proyecto para conocer el claro que el puente debe librar, posteriormente se utiliza AUTOCAD para esquematizar las características geométricas de la estructura. Microsoft Excel se usa para el cálculo y diseño de la superestructura y en el programa SAP2000 se modela la estructura sometiéndose a cargas sísmicas.



#### **4.4. Descripción del procedimiento de investigación.**

El estudio que ahora se presenta partió de encontrar la mejor ubicación para el puente, luego fue preciso recurrir a la investigación documental para recopilar la información teórica que es el soporte de la presente tesis. Posteriormente se realizó un levantamiento topográfico y se capturó la información obtenida en campo para conocer la topografía del lugar y poder determinar que tipo de estructura es la más conveniente una vez conocido el perfil de la depresión topográfica.

Ya contando con lo anterior se procede a realizar un análisis minucioso para diseñar la superestructura del puente, enseguida se modela el puente en el software SAP2000 bajo distintas condiciones de cargas para proponer la subestructura, todo esto llevado a la par con la teoría que soporta este trabajo, lo que permitió poder establecer las conclusiones que responden las interrogantes que al principio de esta tesis se plantean.

## CAPÍTULO 5

### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

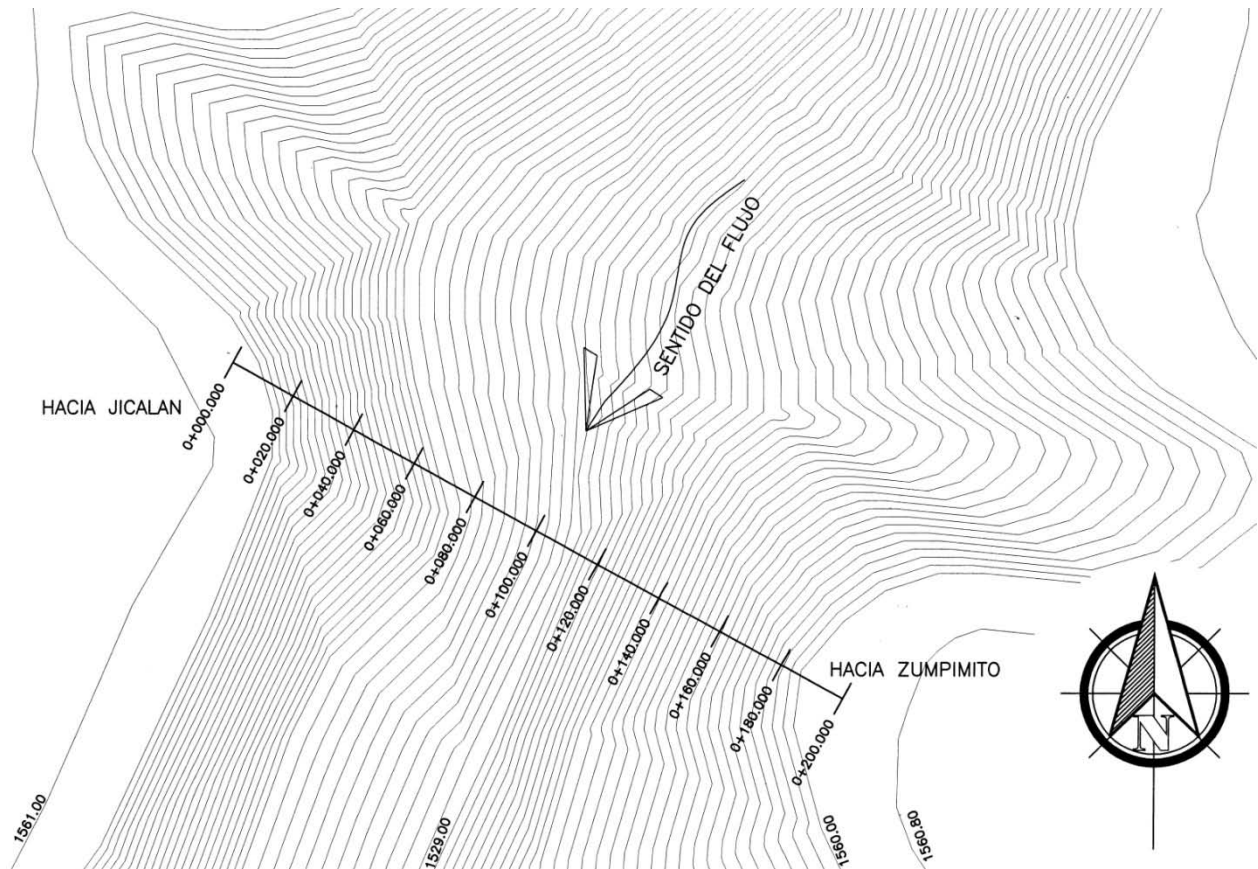
En el presente trabajo, con los datos recabados se diseña la parte de la superestructura del puente mismo que se presenta a continuación.

#### 5.1. Ficha técnica.

|  |  |
|--|--|
| Longitud del tramo . . . . .           | 200 m                                    |
| Tipo de camino . . . . .               | C  |
| Tipo de terreno . . . . .              | Plano o poco lomerío.                    |
| Vel. De proyecto . . . . .             | 50 km/hr                                 |
| TDPA . . . . .                         | 500 vehículos.                           |
| Tipo de carpeta . . . . .              | Concreto asfáltico                       |
| Ancho de corona . . . . .              | 7 m                                      |
| Ancho de calzada . . . . .             | 6 m                                      |
| Ancho de derecho de vía . . . . .      | 20 m                                     |
| Espesor de carpeta asfáltica . . . . . | 10 cm                                    |
| Numero de claros . . . . .             | 10                                       |
| Tipo de vigas empleado . . . . .       | Vigas AASHTO 50-66/135-30T, pretensadas. |

### 5.1.1. Topografía del lugar.

Altura sobre el nivel del mar.....1561 m



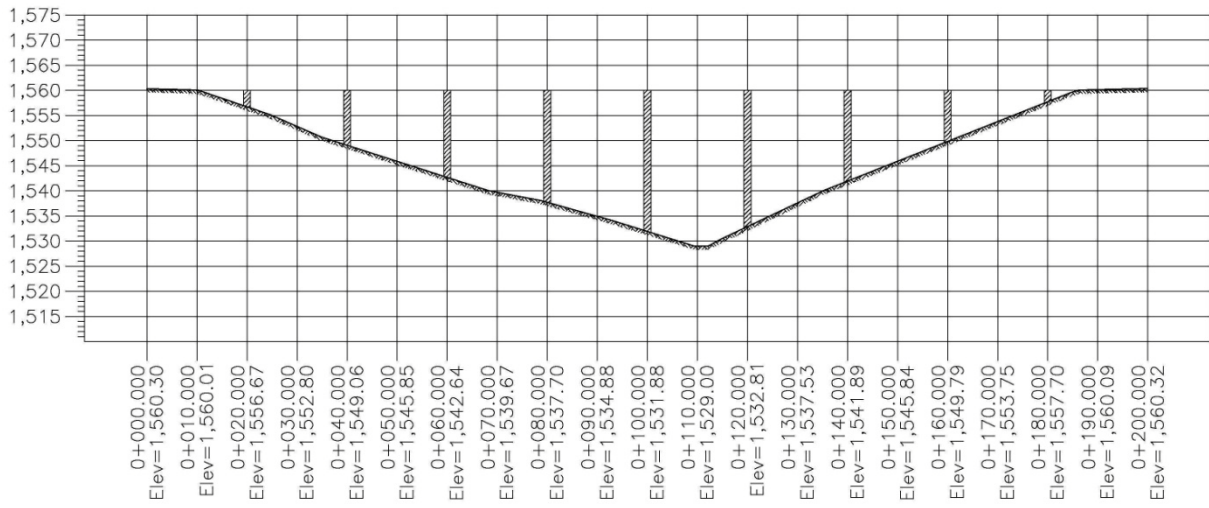


Fig. Ubicación de las columnas, sobre perfil de terreno natural.

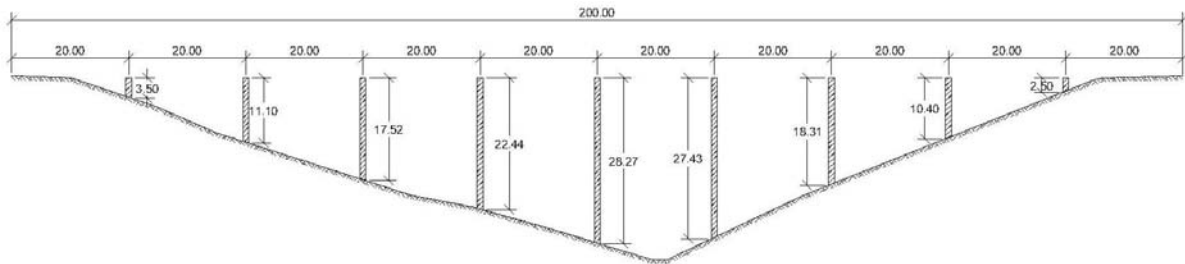


Fig. Altura de las columnas.

**5.1.2. Macro localización.**



Fig. Ubicación del puente con respecto a la ciudad.

## 5.2. Análisis de cargas.

En el presente apartado se analizan tanto las cargas muertas como las cargas vivas a la que se somete la estructura.

### 5.2.1. Cargas muertas.

$$W_{concreto} = W_c = 2.4 \text{ ton}/m^3$$

$$W_{asfalto} = W_a = 2.2 \text{ ton}/m^3$$

Losa  $h = 20 \text{ cm}$

$$hW_c = (0.20)(2.4) = 0.48 \text{ ton}/m^2$$

Asfalto  $h = 10 \text{ cm}$

$$hW_a = (0.10)(2.2) = 0.22 \text{ ton}/m^2$$

Parapetos y guarniciones

$$W_{pg} = 0.041 \text{ ton}/m^2$$

Barrera de protección

$$W_{bp} = 0.034 \text{ ton}/m^2$$

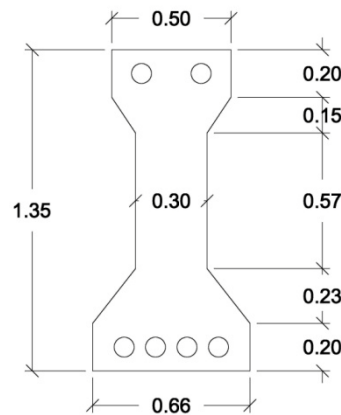
$$hW_c + hW_a + W_{pg} + W_{bp} = 0.775 \text{ ton}/m^2$$

Peso propio de las traves.

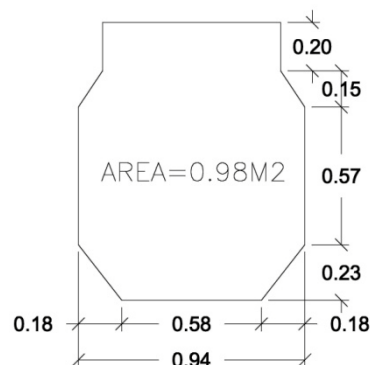
Trabe AASHTO tipo IV, 50-66/135-30T

$$W_{trabe} = W_t = 1376.10 \text{ kg/ml}$$

$$W_{trabe} = W_t = 1.3761 \text{ ton/ml}$$



Peso del diafragma.



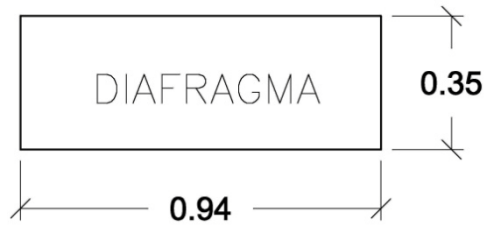


Fig. Características del diafragma.

$$(0.35)(0.9846)(2.4)(1) = 0.8270 \text{ ton/m}$$

Peso de 1 diafragma.

$$(0.35)(0.9846)(2.4)(5) = 4.1353 \text{ ton/m}$$

Peso de los 5 diafragmas.

### 5.2.2. Cargas vivas.

Se considera para el presente análisis un camión HS-20.

Las acotaciones se dan en metros.

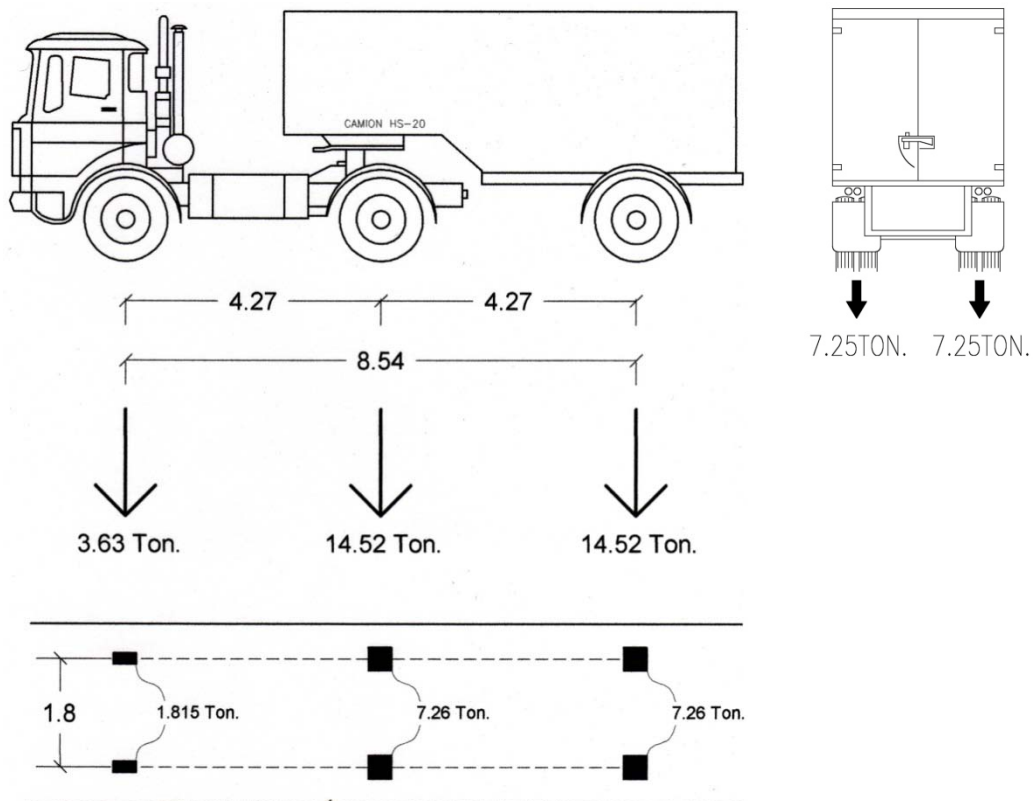
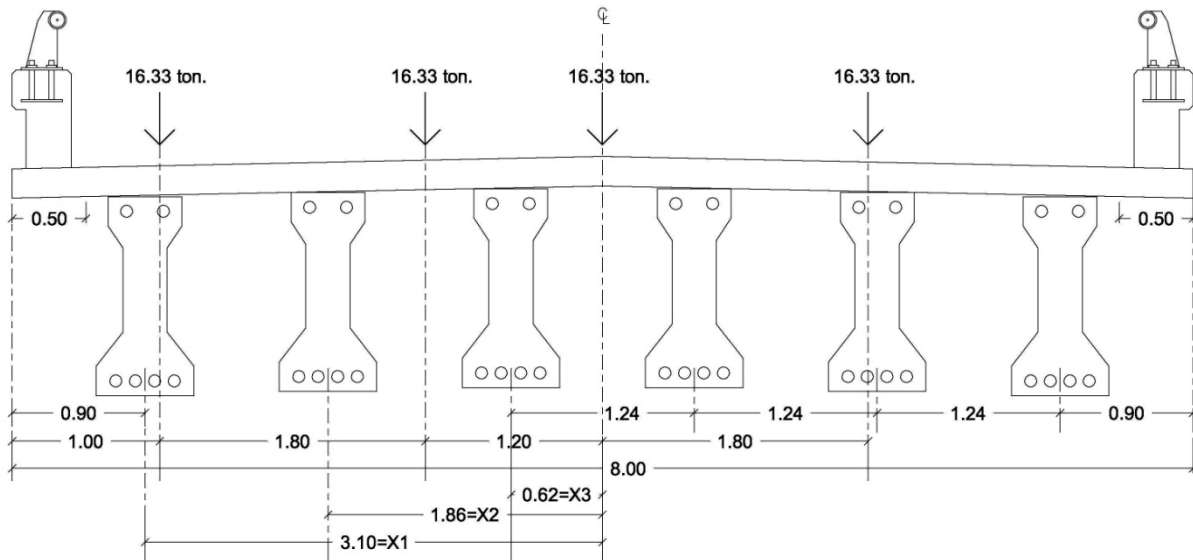


Fig. Camión tipo considerado para el análisis.

### 5.3. Momentos actuantes en traves.

Factores de distribución.



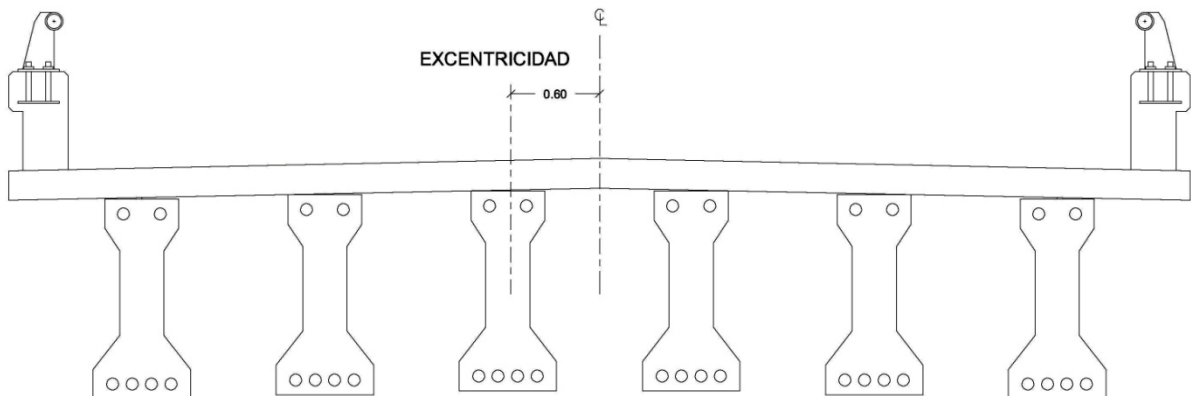
$$1.8 + 1.2 + 1.8 = 4.8$$

$$\frac{4.8}{2} = 2.4$$

$$2.4 + 1 = 3.4$$

$$4 - 3.4 = 0.60 \text{ m}$$

$$\text{Excentricidad} = 0.60\text{m}$$





Datos requeridos para cálculo de los coeficientes de Courbon.

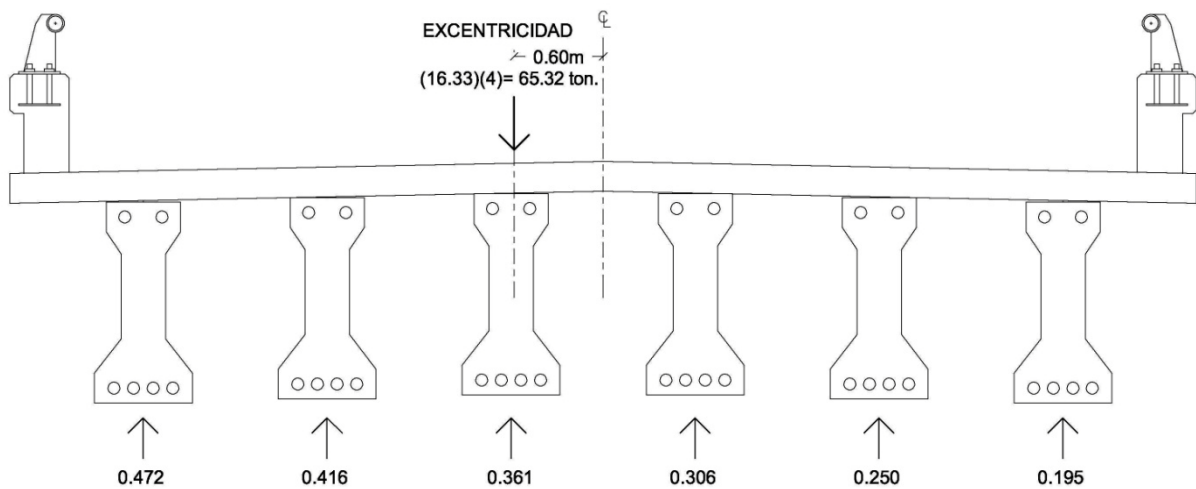
6 traveses

2 vehículos

-0.60m excentricidad

Traveses con igual momento de inercia

|               |         |
|---------------|---------|
| $X1 = -310cm$ | $0.472$ |
| $X2 = -186cm$ | $0.416$ |
| $X3 = -62cm$  | $0.361$ |
| $X4 = 62cm$   | $0.306$ |
| $X5 = 186cm$  | $0.250$ |
| $X6 = 310cm$  | $0.195$ |



Factor de impacto

$$FI = \frac{15.24}{L + 38} = \frac{15.24}{20 + 38} = 0.2627$$

Momento por cargas muertas.

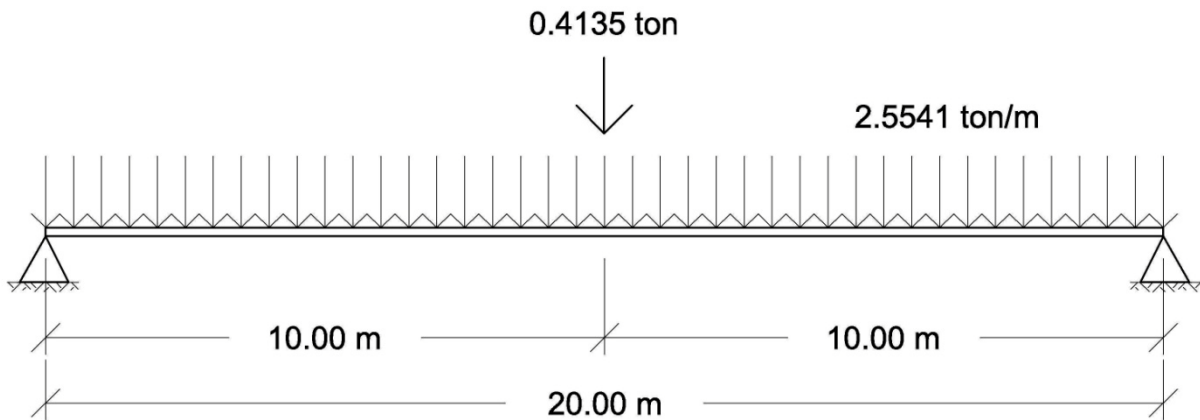
✓ Trabes extremas.

$$losa = W_m W_d = (0.775)(0.90 + 0.62) = 1.1780 \text{ ton/m}$$

$$\text{peso propio viga} = W_t = 1.3761 \text{ ton/m}$$

$$W_m W_d + W_t = 2.5541 \text{ ton/m} = W_{dist.}$$

$$\text{diafragma} = \frac{0.8270}{2} = 0.4135 \text{ ton} = W_{punt}$$



$$M_{CM} = \frac{(W_{punt})(l)}{4} + \frac{(W_{dist.})(l)^2}{8}$$

$$M_{CM} = \frac{(0.4135)(20)}{4} + \frac{(2.5541)(20)^2}{8} = 2.0675 + 127.7050 = 129.7725 \text{ ton} - m$$

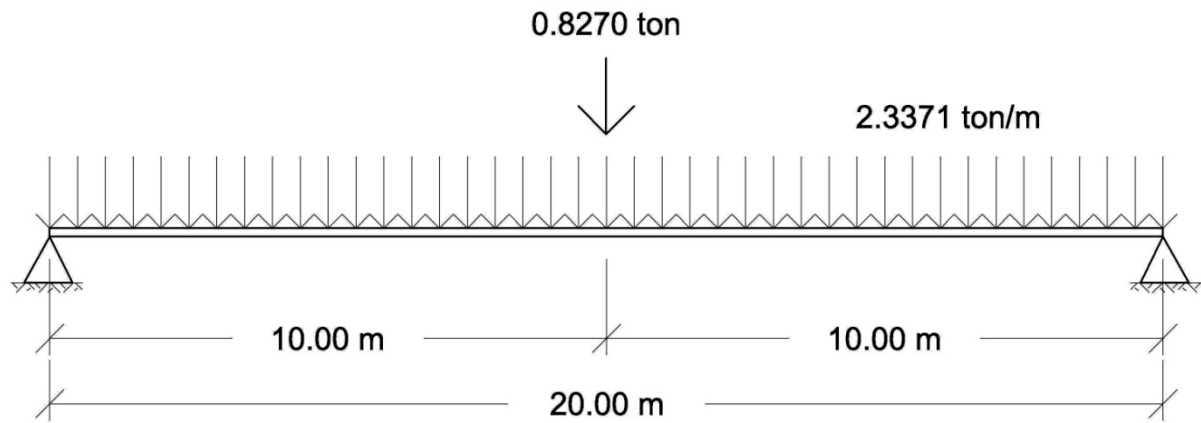
✓ Trabes centrales.

$$\text{losa} = (0.775)(1.24) = 0.9610 \text{ ton/m}$$

$$\text{peso propio} = 1.3761 \text{ ton/m}$$

$$\Sigma = 2.3371 \text{ ton/m} = W_{dist.}$$

$$\text{diafragma} = 0.8270 \text{ ton/m} = W_{punt}$$



$$M_{CM} = \frac{(W_{punt})(l)}{4} + \frac{(W_{dist.})(l)^2}{8}$$

$$M_{CM} = \frac{(0.8270)(20)}{4} + \frac{(2.3371)(20)^2}{8} = 4.1350 + 116.8550 = 120.99 \text{ ton} - m$$

De acuerdo a lo anterior se deduce que el momento de las trabes centrales es menor que el de las trabes de extremo.

Momento por carga viva.

| CLARO (m) | VEHICULO HS-20 (ton-m) |
|-----------|------------------------|
| 15        | 84.84                  |
| 15.40     | 88.08                  |
| 16        | 92.93                  |
| 20        | 92.93+32.36=125.29     |

$$M_{CV} = 125.29 \text{ ton} - m$$

Momento último actuante.

Trabes extremas.

$$M_U = FC(M_{CM} + \text{const.} (1 * FI)(\text{Coef. courbon extremo})(M_{CV}))$$

$$M_U = 1.3(129.77 + 1.67(1.26)(0.472)(125.29)) = 330.46 \text{ ton} - m$$

Trabes centrales.

$$M_U = FC(M_{CM} + \text{const.} (1 + FI)(\text{Coef. courbon central})(M_{CV}))$$

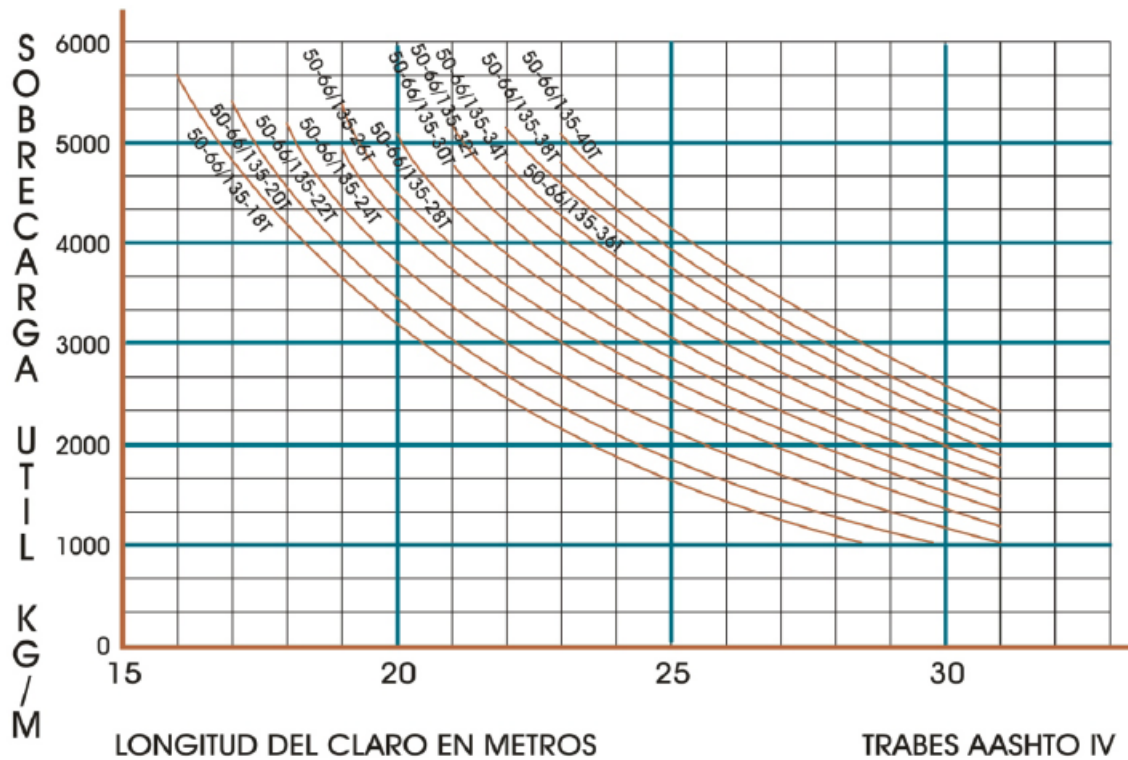
$$M_U = 1.3(120.99 + 1.67(1.26)(0.416)(125.29)) = 299.86 \text{ ton} - m$$

Calculo de la sobrecarga.

$$W = \frac{(M_{Umax})(8)}{(l)^2} = \frac{(330.46 \text{ t} - m)(8)}{(20m)^2} = 6.6092 \text{ ton} - m = 6.61 \text{ ton} - m$$

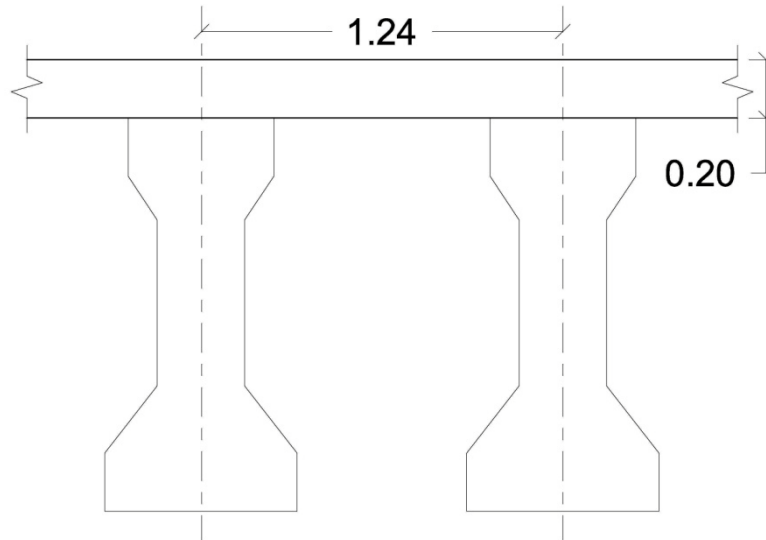
$$\text{sobrecarga} = (6.61 \text{ ton} - m) - (1.3761 \text{ ton} - m) = 5.2339 \text{ ton} - m$$

Por lo tanto, se entra a la tabla de recomendaciones que proporciona LA ASOCIACION NACIONAL DE INDUSTRIALES DEL PRESFUERZO Y LA PREFABRICACIÓN A.C. Y se corrobora que es el elemento adecuado para esta estructura.



#### 5.4. Diseño de la losa.

Momento actuante en losa.



Momento por carga muerta.

$$s = 1.24 \text{ m}$$

$$w = 0.775 \text{ ton/m}^2$$

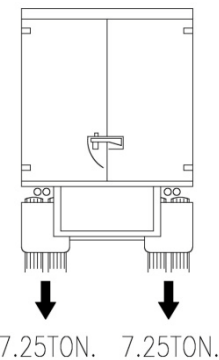
$$M_{CM} = \frac{(w)(s)^2}{10} = \frac{(0.775)(1.24)^2}{10} = 0.1191 \text{ ton} - m$$

Momento por carga viva.

$$P_{20} = 7.257 \text{ m}$$

$$M_{CV} = 0.8 \left( \frac{s + 0.61}{9.75} \right) P_{20}$$

$$M_{CV} = 0.8 \left( \frac{1.24 + 0.61}{9.75} \right) (7.257) = 1.1015$$



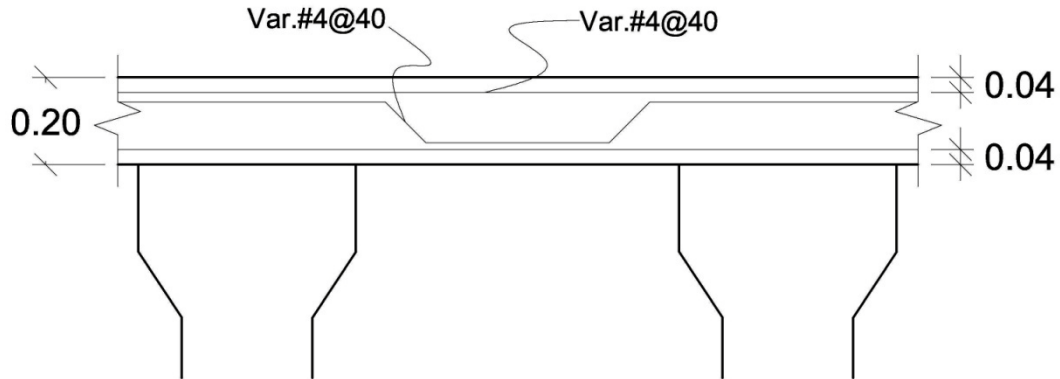
Momento ultimo actuante.

$$M_U = FC(M_{CM} + \text{const.}(1 + FI)(M_{CV}))$$

$$M_U = 1.3[0.1191 + 1.67(1.29)(1.1015)] = 3.16 \text{ ton} - m$$

Momento resistente de la losa.

El armado tipo para la losa es:



Por lo tanto vars. #4@20cm

$$As \text{ por metro} = \frac{100(1.27)}{20} = 6.35 \text{ cm}^2$$

$$b = 100 \text{ cm}$$

$$f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$$

$$h = 20 \text{ cm}$$

$$fy = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

$$rec = 4 \text{ cm}$$

$$p = 0.00529$$

$$d = 16 \text{ cm}$$

$$q = 0.1307$$

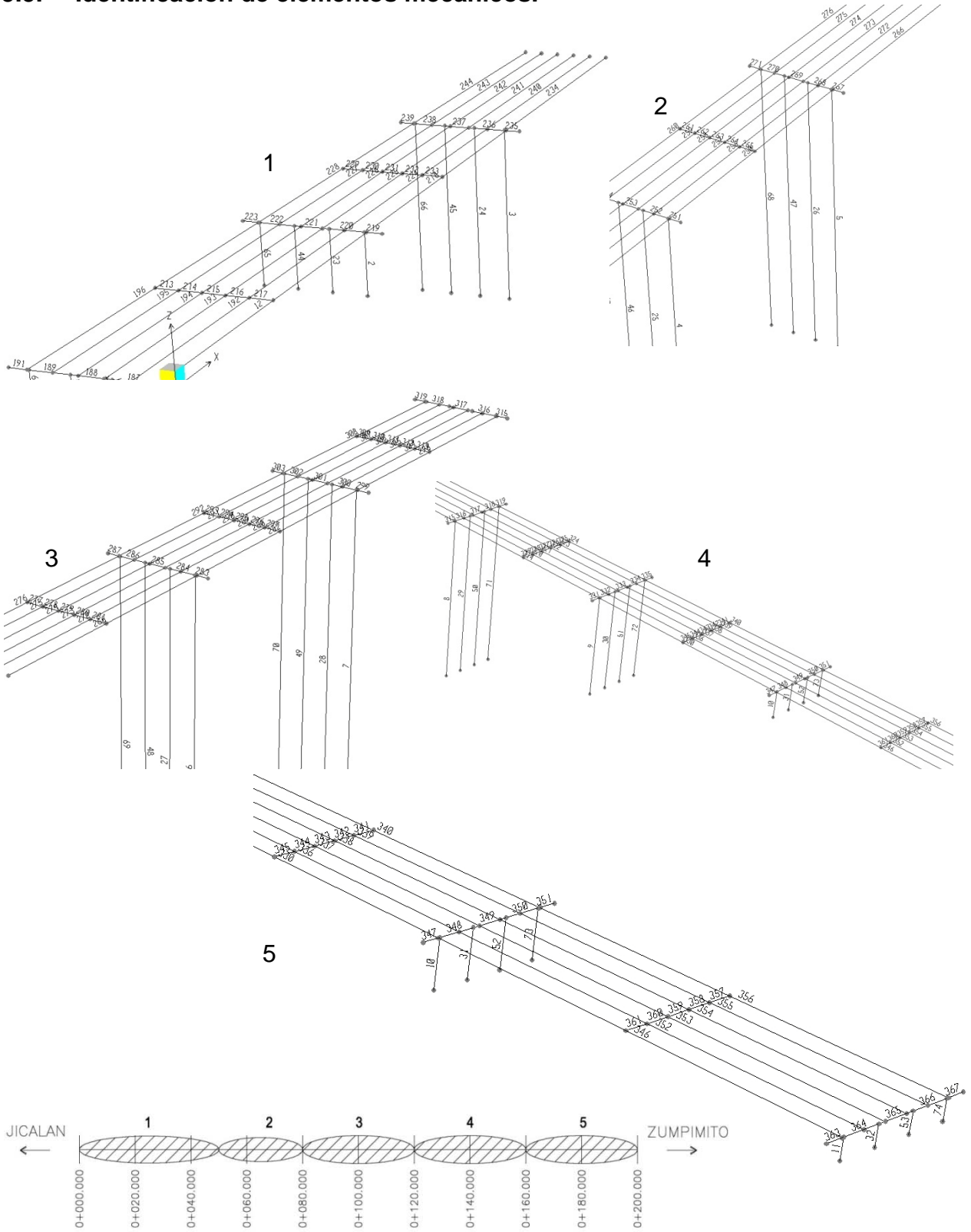
$$M_R = FR[b(d)^2(f'c)(q)(1 - 0.5(q))]$$

$$M_R = 0.9[100(16)^2(170)(0.1307)(1 - 0.5(0.1307))] = 478471.41 \text{ kg} - \text{cm}$$

$$M_R = 4.785 \text{ t} - \text{m} > M_U = 3.16 \text{ t} - \text{m}$$

Por lo tanto si resiste.

## 5.5. Identificación de elementos mecánicos.



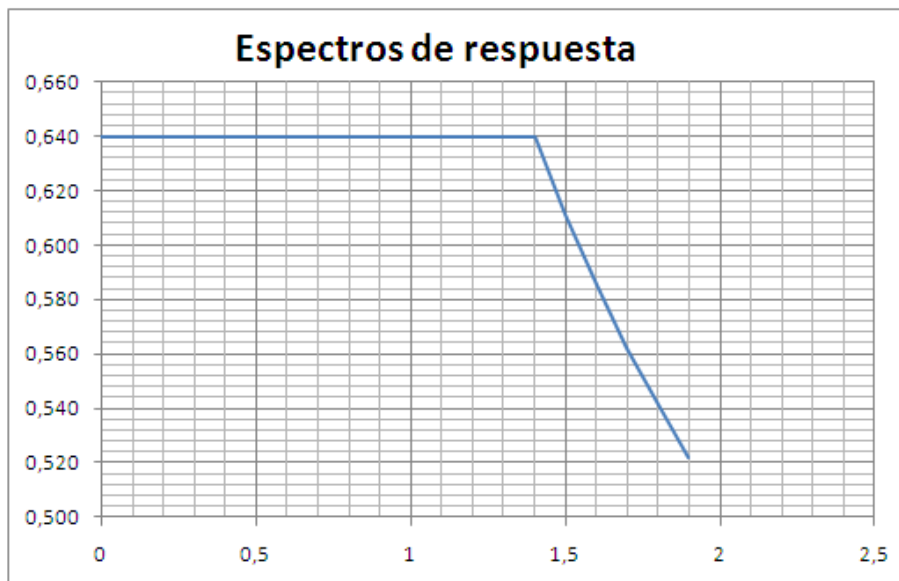


### 5.5.1. Análisis sísmico.

Para el análisis sísmico se utilizó el método dinámico modal espectral con el cual el programa SAP2000 calcula automáticamente las fuerzas sísmicas y se las aplica al modelo para esto se definió el espectro de diseño de donde se obtuvo la aceleración y la forma en que se aplican las fuerzas.

El espectro de diseño se obtiene del reglamento de construcciones del estado de Michoacán.

| Zona sísmica | Tipo de | $a_0$ | C    | $T_a$ | $T_b$ | r     |
|--------------|---------|-------|------|-------|-------|-------|
| C            | II      | 0.64  | 0.64 | 0     | 1.4   | 0.667 |



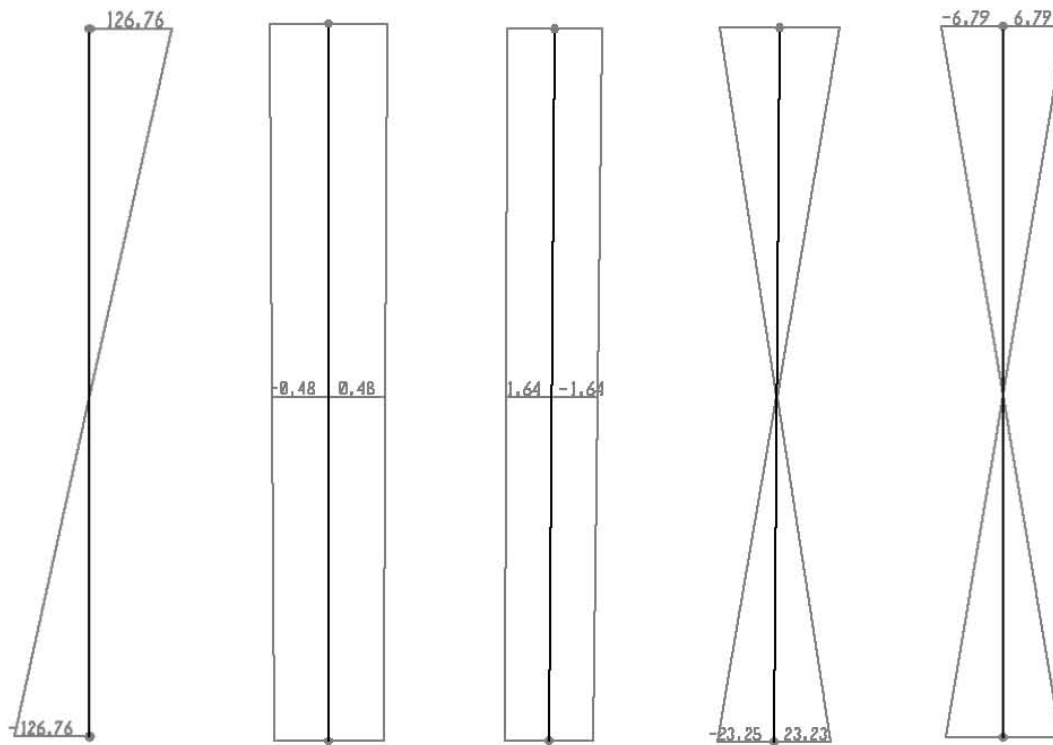
El SAP2000 en lugar de **C** se requiere la aceleración, esta se calcula multiplicando **C** por la gravedad ( $9.81 \text{ m/s}^2$ ). el factor de ductilidad empleado es  $Q=2$ .

## 5.6. Diseño de las columnas.

Columna de cadenamiento 0+100.00, elemento #6

Resultados combinación de sismo en sentido y por ser más desfavorable.

| TABLE: Element Forces - Frames |         |            |             |          |                 |               |               |         |                |               |
|--------------------------------|---------|------------|-------------|----------|-----------------|---------------|---------------|---------|----------------|---------------|
| Frame                          | Station | OutputCase | CaseType    | StepType | P               | V2            | V3            | T       | M2             | M3            |
| Text                           | m       | Text       | Text        | Text     | Ton             | Ton           | Ton           | Ton-m   | Ton-m          | Ton-m         |
| 6                              | 0.0000  | COMBSISX   | Combination | Max      | -126.7593       | 1.4491        | 0.5381        | 0.0679  | 7.6437         | 20.4830       |
| 6                              | 14.1350 | COMBSISX   | Combination | Max      | 0.0000          | 1.4491        | 0.5381        | 0.0679  | 0.0370         | 0.0000        |
| 6                              | 28.2700 | COMBSISX   | Combination | Max      | 126.7593        | 1.4491        | 0.5381        | 0.0679  | 7.6050         | 20.4830       |
| 6                              | 0.0000  | COMBSISX   | Combination | Min      | -126.7593       | -1.4491       | -0.5400       | -0.0679 | -7.6613        | -20.4830      |
| 6                              | 14.1350 | COMBSISX   | Combination | Min      | 0.0000          | -1.4491       | -0.5400       | -0.0679 | -0.0282        | 0.0000        |
| 6                              | 28.2700 | COMBSISX   | Combination | Min      | 126.7593        | -1.4491       | -0.5400       | -0.0679 | -7.5698        | -20.4830      |
| 6                              | 0.0000  | COMBSISY   | Combination | Max      | -126.7593       | <b>0.4807</b> | <b>1.6364</b> | 0.1746  | <b>23.2333</b> | <b>6.7946</b> |
| 6                              | 14.1350 | COMBSISY   | Combination | Max      | 0.0000          | 0.4807        | 1.6364        | 0.1746  | 0.1033         | 0.0000        |
| 6                              | 28.2700 | COMBSISY   | Combination | Max      | <b>126.7593</b> | 0.4807        | 1.6364        | 0.1746  | 23.0619        | 6.7946        |
| 6                              | 0.0000  | COMBSISY   | Combination | Min      | -126.7593       | -0.4807       | -1.6382       | -0.1746 | -23.2509       | -6.7946       |
| 6                              | 14.1350 | COMBSISY   | Combination | Min      | 0.0000          | -0.4807       | -1.6382       | -0.1746 | -0.0945        | 0.0000        |
| 6                              | 28.2700 | COMBSISY   | Combination | Min      | 126.7593        | -0.4807       | -1.6382       | -0.1746 | -23.0266       | -6.7946       |



C. AXIAL

CORT EN Y

CORT EN X

MOM Y

MOM X

Diseño a flexión, Columna de cadenamiento 0+100.00, elemento #6

**DATOS**

COMO COL. CIRCULAR

Diametro= 1.20 m  
Area= 1.12 m<sup>2</sup>

COMO COL. CUADRADA

b= 1.06 m  
h= 1.06 m  
Area= 1.12 m<sup>2</sup>

b= 106 cm  
h= 106 cm  
f<sub>y</sub> = 4200 kg/cm<sup>2</sup>  
f'<sub>c</sub> = 250 kg/cm<sup>2</sup>  
P = 126.75 ton  
M<sub>x</sub> = 6.79 ton-m  
M<sub>y</sub> = 23.33 ton-m  
FC = 1.5  
FR = 0.8  
Rec. = 5 cm  
f\*<sub>c</sub> = 200 kg/cm<sup>2</sup>  
f''<sub>c</sub> = 170 kg/cm<sup>2</sup>

**1.-Calculo de Pu, Mux y Muy.**

Pu = 190.125 ton  
Mux = 10.185 ton-m  
Muy = 34.995 ton-m

**2.-Calculo de "p"**

Se sugiere:  $0.01 < p < 0.035$

p = 0.01  
q = 0.2471

$$q = \frac{P f_y}{f_c''}$$

**3.-Calculo de "PRO"**

$$P_{R0} = F_R [f_c'' b h (1 - \rho) + f_y b h \rho]$$

PRO = 1890344.64 kg  
PRO = 1890.34464 ton

**4.-Calculo de "PRx"**

$$P_{Rx} = F_R K_x b h f_c''$$

K<sub>x</sub>, SE OBTIENE DE LOS DIAGRAMAS DE ITERACIÓN.

$$\frac{d_x}{h_x} = \frac{101}{106} \quad dx/hx = 0.9528$$

e<sub>x</sub> = Mux / Pu  
e<sub>x</sub> = 0.0536 m

$$e_{ax} \geq \left\{ \begin{array}{l} 0.05 \cdot h_x = 5.3 \text{ cm} \\ 2.0 \text{ cm} \end{array} \right\}$$

$$e_x = 5.36 \text{ cm}$$

ENTRANDO AL GRAFICO CON

$$e_{xt} = 10.66 \text{ cm}$$

$$q = 0.2471$$

$$dx/hx = 0.9528$$

$$ext/hx = 0.101$$

$$ext/hx = 0.101$$

DEL DIAGRAMA SE EXTRAE

$$Kx = 1.04$$

$$PRx = 1589219.84 \text{ kg}$$

$$PRx = 1589.21984 \text{ ton}$$

### 5.-Calculo de "Pr<sub>y</sub>"

$$P_{Ry} = F_R(K_y)(b)(h)(f'c)$$

K<sub>y</sub>, SE OBTIENE DE LOS DIAGRAMAS DE ITERACIÓN.

$$\frac{d_y}{h_y} = \frac{101}{106} \quad dy/hy = 0.9528$$

$$e_y = M_{uy} / P_u$$

$$e_y = 0.1841 \text{ m}$$

$$e_{ay} \geq \left\{ \begin{array}{l} 0.05 \cdot h_y = 5.3 \text{ cm} \\ 2.0 \text{ cm} \end{array} \right\}$$

$$e_y = 18.41 \text{ cm}$$

ENTRANDO AL GRAFICO CON

$$e_{yt} = 23.71 \text{ cm}$$

$$q = 0.2471$$

$$dy/hy = 0.9528$$

$$eyt/hy = 0.224$$

$$eyt/hy = 0.224$$

DEL DIAGRAMA SE EXTRAE

$$Ky = 0.78$$

$$PRy = 1191914.88 \text{ kg}$$

$$PRy = 1191.91488 \text{ ton}$$

### 6.-Calculo de "Pr"

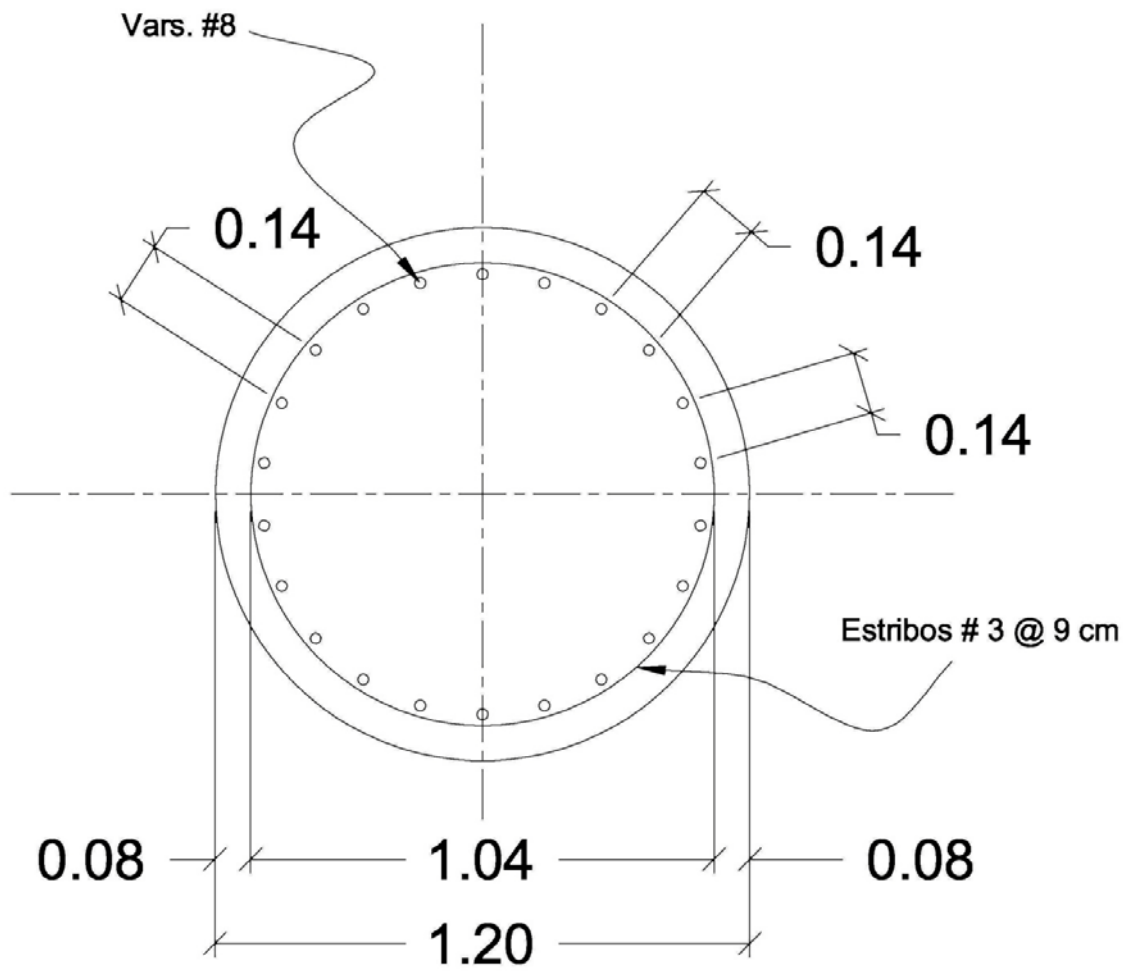
$$P_R = \frac{1}{\frac{1}{P_{Rx}} + \frac{1}{P_{Ry}} - \frac{1}{P_{R0}}}$$

$$PR = 1064.71 \text{ ton}$$

$$\frac{P_R}{P_{R0}} \geq 0.1 \quad PR / PRO = \frac{1064.71}{2000} = 0.53235$$

SE ACEPTA LA FORMULA ANTERIOR, SOLO REVISA EL PORCENTAJE SIGUIENTE  
HAY UNA DIFERENCIA = 460.01 %

$$A_s = pbh = 0.01(106)(106) = 111 \text{ cm}^2$$



Diseño a cortante, Columna de cadenamiento 0+100.00, elemento #6

|      |         |     |      |      |                    |
|------|---------|-----|------|------|--------------------|
| hx=  | 1.06    | m   | f'c  | 250  | kg/cm <sup>2</sup> |
| hy=  | 1.06    | m   | f*c  | 200  | kg/cm <sup>2</sup> |
| d=   | 1.01    | m   | f''c | 170  | kg/cm <sup>2</sup> |
| Pu=  | 190.125 | ton | fy   | 4200 | kg/cm <sup>2</sup> |
| Vuy= | 2.445   | ton |      |      |                    |
| fr   | 0.8     |     |      |      |                    |

$$V_{CR} = F_R b d (0.2 + 20 \rho) \sqrt{f^* c} \left( 1 + 0.007 \frac{P_u}{A_g} \right)$$

Vcr= 55529.88 kg

d/2= 50.5 m

Estribos de # 3

# de ramas = 2

Av= 1.43

$$S = \frac{F_R A_v f_y d}{V_u - V_{CR}}$$

s= 9.11 cm

s min= 6 cm

$$s \max < \left\{ \begin{array}{l} 12.9 \text{ cm} \\ 29.12 \text{ cm} \\ 45.72 \text{ cm} \\ 53 \text{ cm} \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} \frac{F_R A_v f_y}{3.5b} \\ \left[ \frac{850}{\sqrt{f_y}} \right] \\ 48 \phi \text{ estribo} \\ 0.5 \text{ menor dim.} \end{array} \right.$$

s= 9.11

se Usara: E # 3 @ 9.00 cm

## CONCLUSIONES

El diseño de puentes es sin lugar a dudas una rama de la ingeniería donde intervienen muchas especialidades en las cuales el común denominador es el ingeniero civil, la topografía permite conocer la nivelación del eje del proyecto para determinar su perfil topográfico así como las pendientes geométricas o hidráulicas, los estudios hidrológicos determinan como es el funcionamiento hidráulico del cauce, área de la cuenca así como otras características fisiográficas, la parte hidráulica determina los gastos, tirantes y velocidades correspondientes.

El presente trabajo de tesis se enfocó al diseño de la superestructura de un puente que comunicara la colonia Zumpimito con la comunidad de Jicalán, ambos pertenecientes al municipio de Uruapan, para lo cual sólo se realizó un levantamiento topográfico para conocer el perfil, partiendo de ello se propuso la ubicación de las pilas y posteriormente se analizaron los elementos mecánicos donde se establece que si se cumplió con el diseño de la superestructura.

Además de que se diseñó la parte de la superestructura de una forma que puede soportar el tránsito de vehículos y de peatones además de fuerzas sísmicas, se logro establecer la mejor ubicación del puente debido a que las características topográficas así lo permitieron. Es importante mencionar que se logro el diseño de la estructura de manera óptima debido al desarrollo de la investigación en el campo del presfuerzo y que además son productos que están en el mercado, se analizaron las vigas de

concreto presforzado tipo AASHTO 50-66/135-30T, las cuales de acuerdo a los cálculos resultaron ser las ideales para soportar la carga móvil y la carga muerta.

En el momento que se analiza la estructura, se encontró que la concentración de momentos flexionantes es mayor en las columnas más cercanas a los estribos debido a que disminuye la longitud del elemento, de la misma forma ocurre con los esfuerzos a cortante que se presentan en las columnas que disminuyen cada vez más en los elementos más cercanos a los estribos, esto demuestra que no es en el centro de la estructura donde se presentan los esfuerzos mayores sino en la proximidad a los extremos. Es entonces cuando se decide proponer columnas de 1.20m de diámetro para que soporten los esfuerzos de la mayoría de las columnas.

Haciendo hincapié en la interrogante que se plantea al inicio de este trabajo se demuestra que la presente estructura brinda las condiciones de comodidad seguridad y estética además de que cumple con las normas y recomendaciones que marca la Secretaria de Comunicaciones y Transportes así como recomendaciones de especialistas en la elaboración de proyectos para puentes.

Se deduce que el resultado final del diseño de la superestructura del puente es una estructura con dimensiones óptimas en cada uno de sus elementos y una geometría que permite pasar sobre la depresión topográfica que forma el Río Cupatitzio y así poder comunicar la colonia Zumpimito con la comunidad de Jicalán.



Es de suma importancia seguir desarrollando nuevas técnicas constructivas y soluciones para el diseño de proyectos capaces de satisfacer las necesidades que demanda la sociedad actual y de esta forma dar solución con vías alternas para desahogar el congestionamiento vial que existe en algunas ciudades del país.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Casas Rius Joan Ramón (2007)

1er. Simposio Internacional de diseño de puentes.

Morelia Mich. México.

Censo de población y vivienda (2005)

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI)

México.

Gutiérrez Martínez Carlos, y Cols. (2001)

Centro Nacional de Prevención de Desastres.

México

Crespo (1996)

Vías de comunicación.

Ed. Limusa.

Frías Aldaraca Rubén (2007)

1er. Simposio Internacional de diseño de puentes.

Morelia Mich. México.

Guía para la inspección de puentes (2006).

Ministerio de transportes y comunicaciones república de Perú.

Perú.

Hernández Sampieri, Roberto y Cols. (2005)

Metodología de la Investigación

Ed. McGraw Hill. México.

Jara Díaz Manuel, Jara Guerrero José Manuel, Casas Rius Joan Ramón (2006)

Protección sísmica de estructuras con dispositivos de control.

SEP. México

John Wiley y Sons (1979)

Bridge Deck Analysis.

Ed. Cusens Pama. England.

McCormac Jack C. (2005)

Diseño de estructuras de acero

Ed. Alfa Omega, México.

Merritt Frederick S. (1999)

Manual del ingeniero civil.

Ed. McGraw-Hill, México.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2004)

Normativa para la infraestructura del transporte.

México

Manual de diseño de estructuras prefabricadas y presforzadas.

Asociación Nacional de industriales del Preesfuerzo y la Prefabricacion A. C. e  
Instituto de Ingeniería de la UNAM, México.

Reglamento de construcciones del estado de Michoacán (1999)

Tesorería General del Estado de Michoacán (2005)

Administración 2005-2008

Michoacán, México.

## OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN

Enciclopedia Virtual Encarta (2008)

Enciclopedia Encarta MR. 2008

[http://www.sirve.cl/informacion\\_tecnica/aislacion\\_sismica/imagenes\\_IT\\_aislacion/partes\\_del\\_aislador.jpg](http://www.sirve.cl/informacion_tecnica/aislacion_sismica/imagenes_IT_aislacion/partes_del_aislador.jpg)

<http://www.saiemexico.com.mx/saieinformablog/index.php/ano-2-boletin-no-10/sustentabilidad/97--puente-de-plastico-reciclado>

<http://www.harms-betonwerk.de/produkte.htm>

<http://www.geocities.com>

<http://www.hispago.com/arquitectura/puentes-de-chicago/puentes-moviles>.

<http://diccionario.coag.es/paxina.php?paxina=4-03>

<http://sunroad.pe.kr>

[http://www.diamante-coronda.com.ar/puentes\\_moviles.htm](http://www.diamante-coronda.com.ar/puentes_moviles.htm)

<http://caminos.construaprende.com/pue/curso08.php>

<http://www.bardaglea.org.uk/bridges/bridge-types/bridge-types-intro.html>

<http://www.scribd.com/doc/6203639/Manual-Puentes-Ssi>

[http://www.structuralia.com/info/img//Noticia\\_Ficheros/NPPuentes.pdf](http://www.structuralia.com/info/img//Noticia_Ficheros/NPPuentes.pdf)

<http://www.arquitectuba.com.ar/monografias-de-arquitectura/puentes-2/>

AASHTO specifications for design of bridges

[www.anippac.org.mx](http://www.anippac.org.mx)

<http://www.galeon.com/puentes/tipos/pontscantilever.htm>

<http://sanpe.blogspot.es/>

<http://abelgalois.files.wordpress.com/2008/08/m4.jpg>

[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f1/Akashi\\_Bridge.JPG](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f1/Akashi_Bridge.JPG)

<http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:TataraOhashi.jpg>

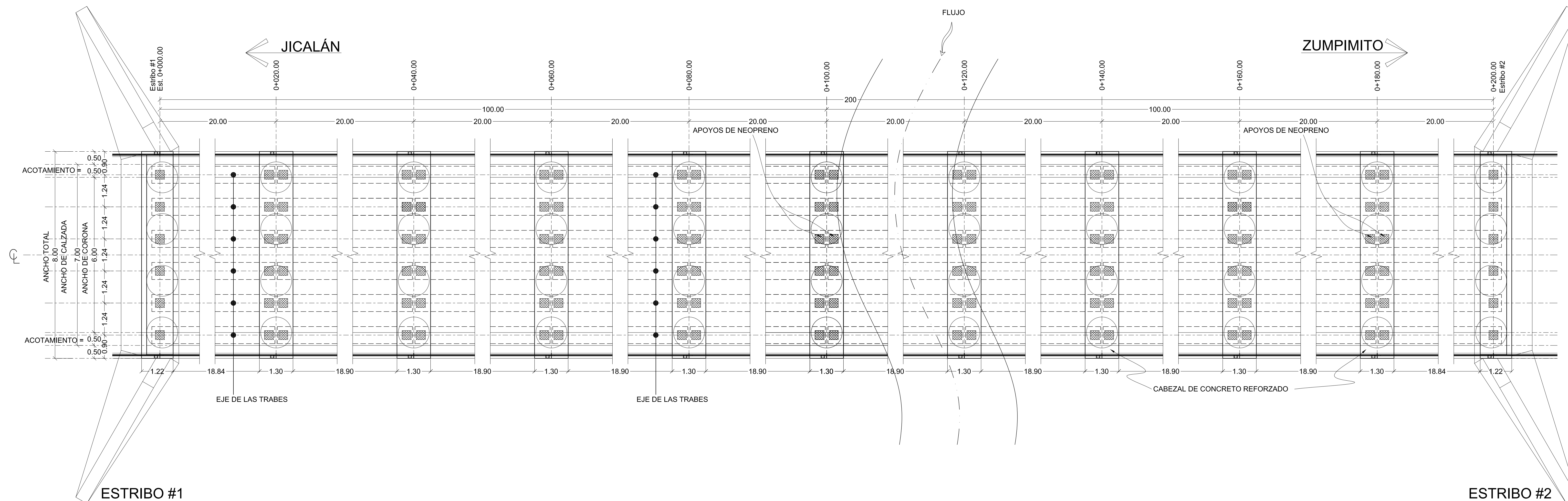
[http://caminos.udc.es/info/assignaturas/622/contenido\\_publico/recursos/P2\\_03\\_puentes\\_arco.pdf](http://caminos.udc.es/info/assignaturas/622/contenido_publico/recursos/P2_03_puentes_arco.pdf)

<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=185595&page=3>

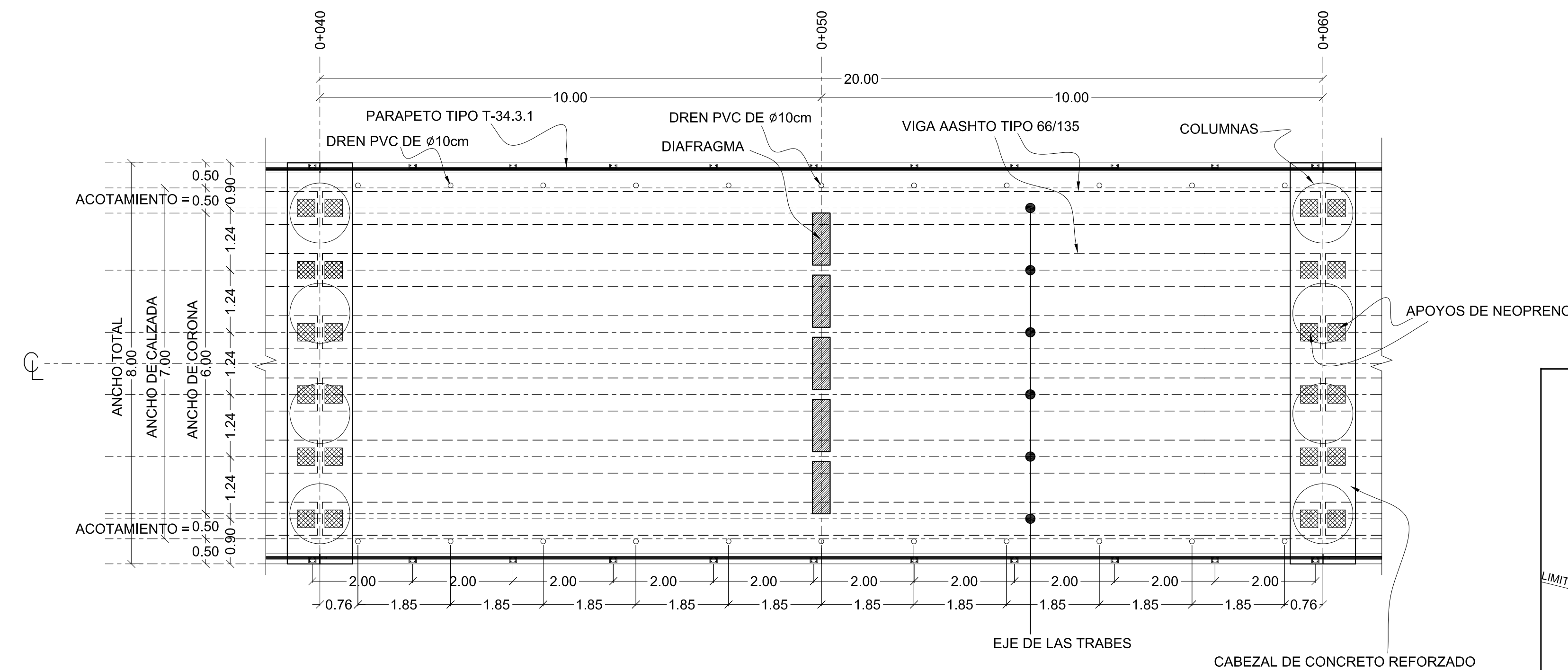
# **ANEXOS**







PLANTA GENERAL



BLOQUE TIPO



LOCALIZACIÓN



**UNIVERSIDAD DON VASCO**  
 Incorporación No. 8727-15  
 A la Universidad Autónoma de México  
**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**  
 URUAPAN, MICHOACÁN



Tesis que para obtener el título de ingeniero civil presenta:

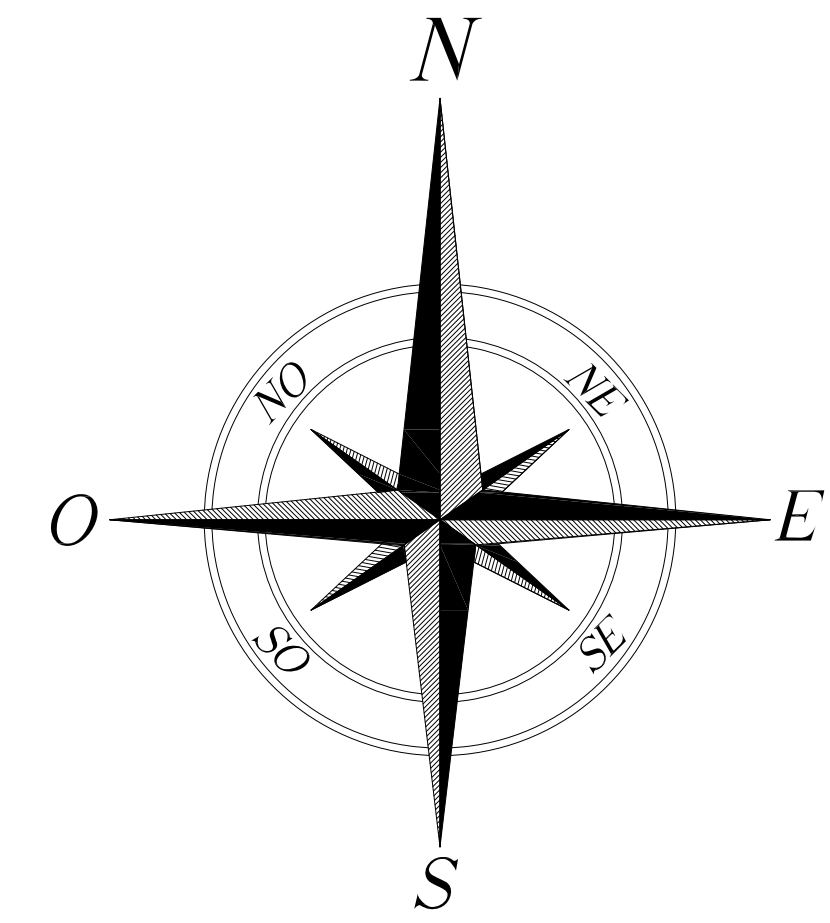
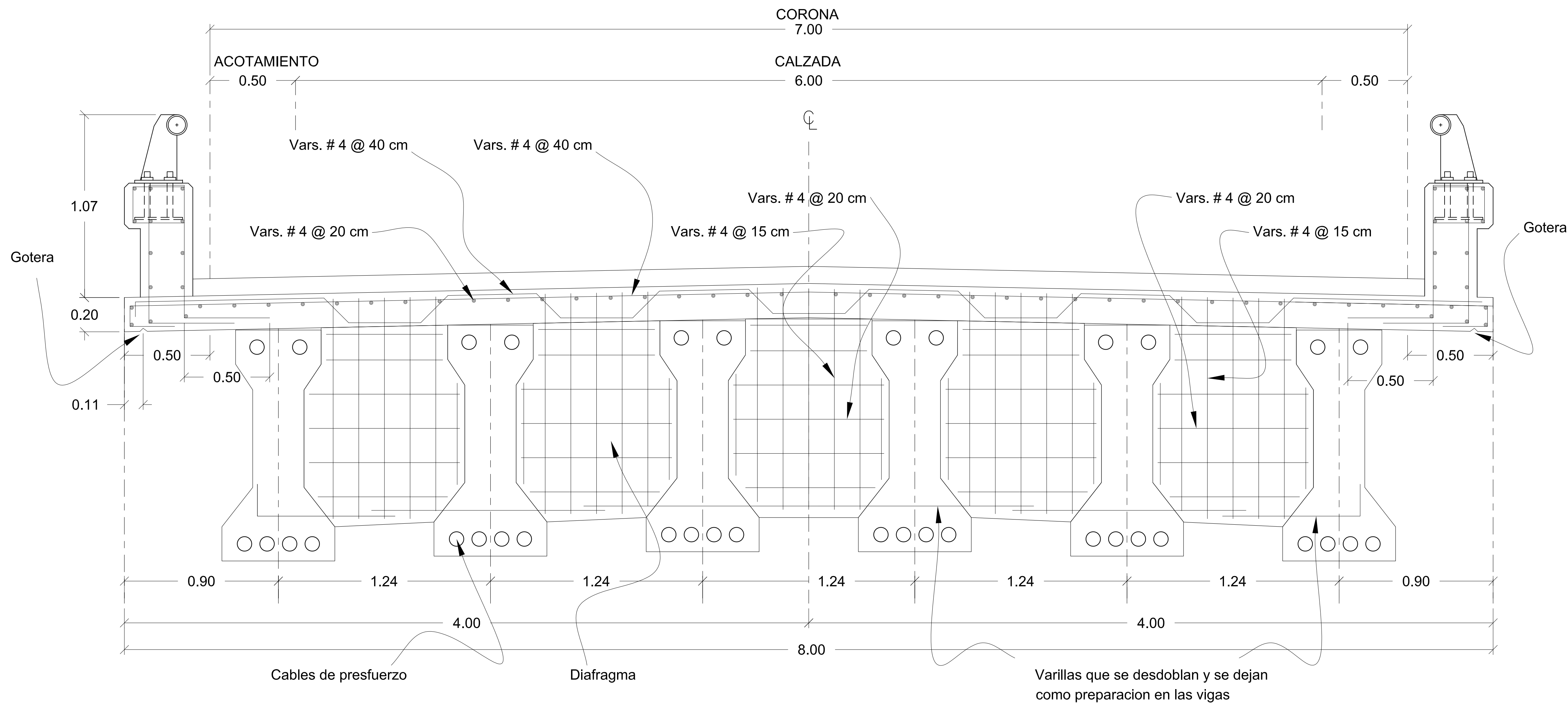
**MIGUEL MADRIGAL MAGAÑA**

Proyecto:  
 Diseño estructural de la superestructura de puente para comunicar la comunidad de Jicalán con la ciudad de Uruapan sobre el Río Cupatitzio.

Obra: Superestructura de puente  
 Plano: PLANTA

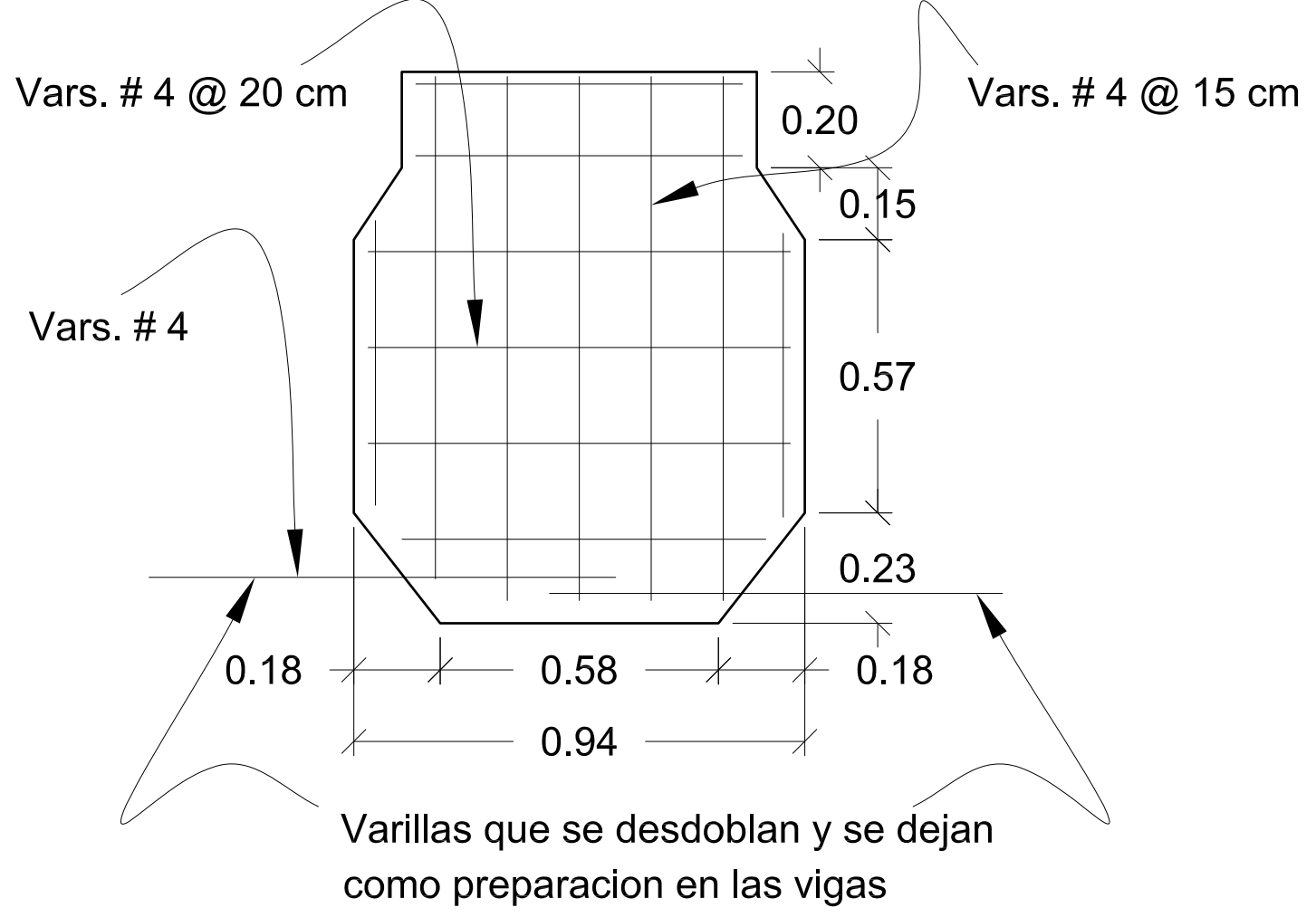
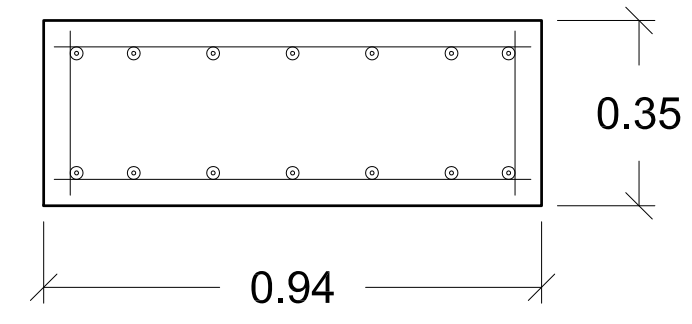
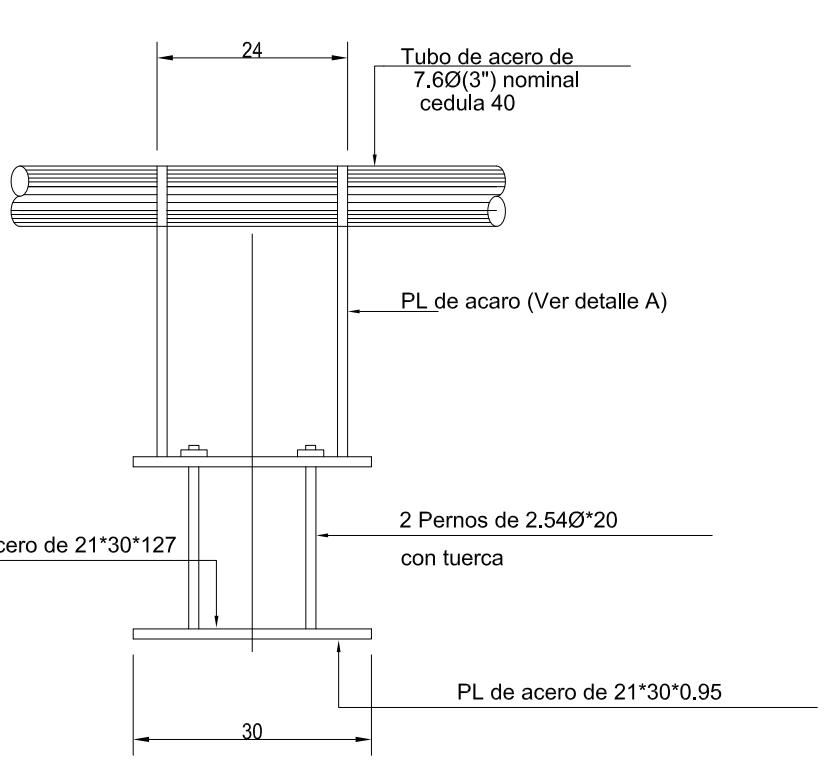
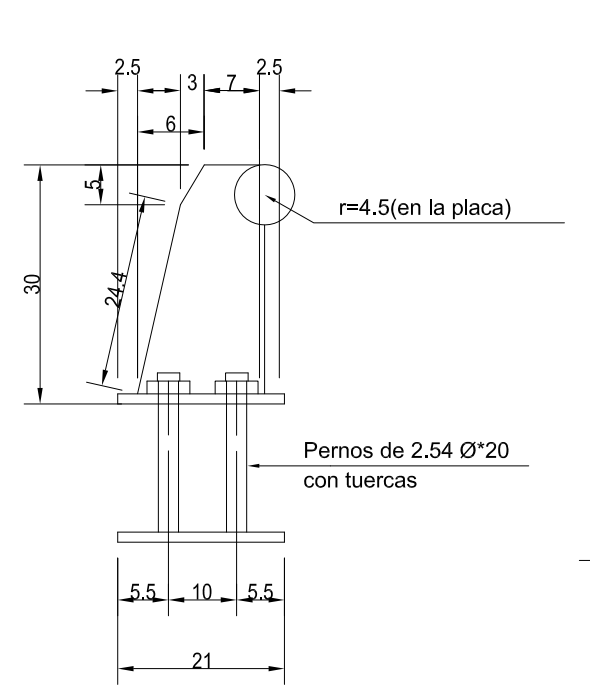
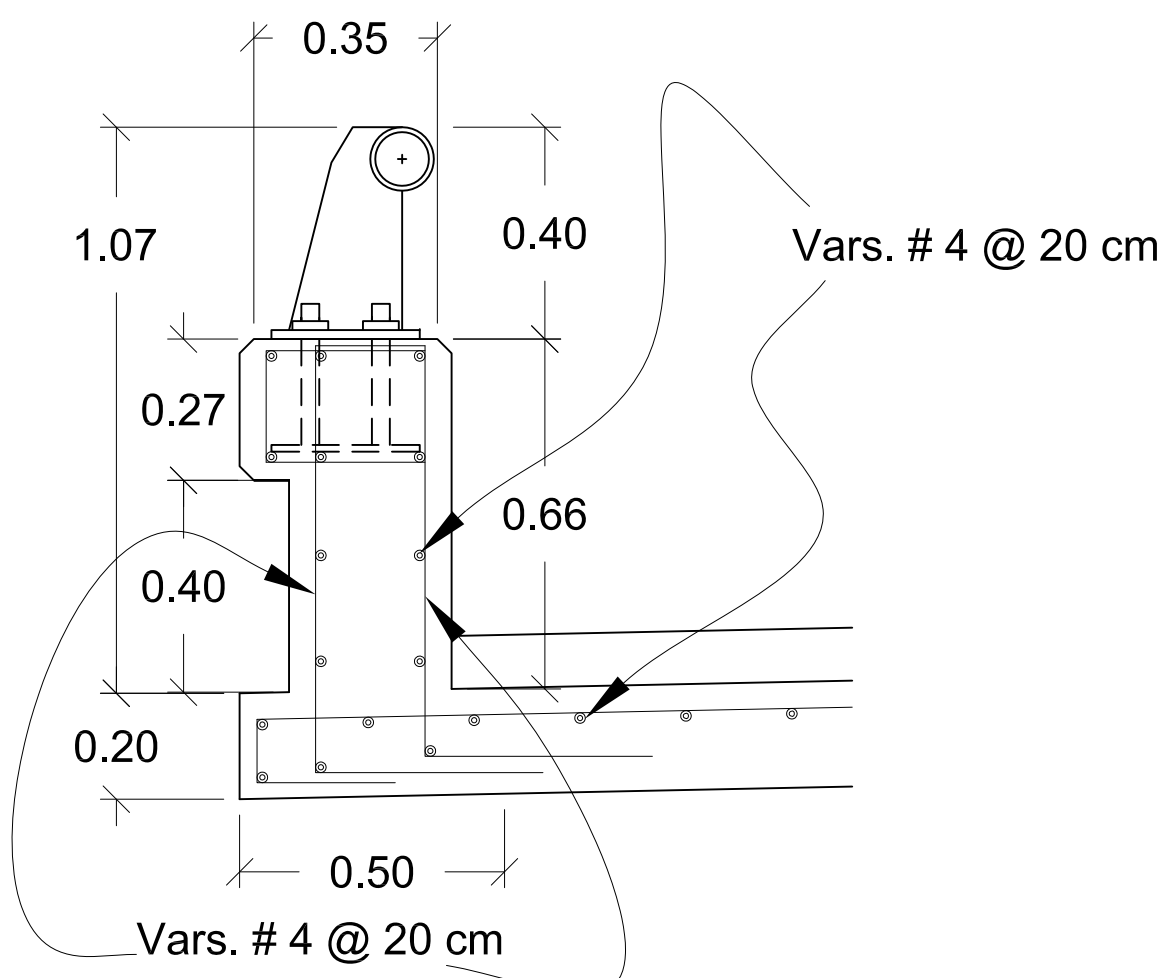
Escala: Sin escala las cotas rigen al dibujo  
 Carretera: Zumpimito - Jicalán

Plano: 2  
 Acotación: metros  
 Asesor: M.I. ENRIQUE OMAR NAVARRO CABALLERO



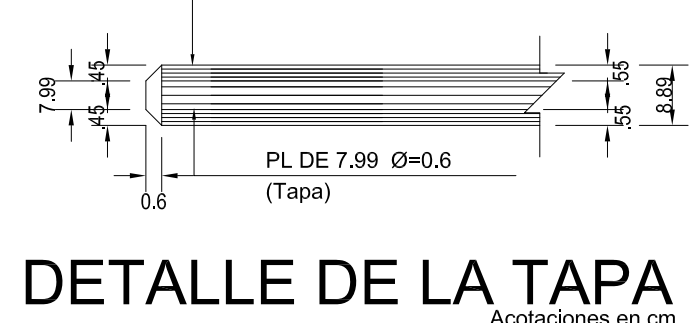
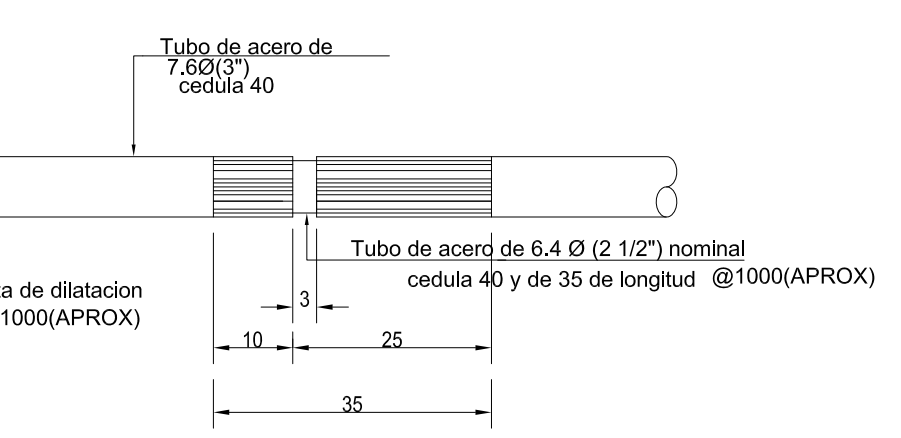
**REFUERZO EN DIAFRAGMA Y LOSA**

**LOCALIZACIÓN**



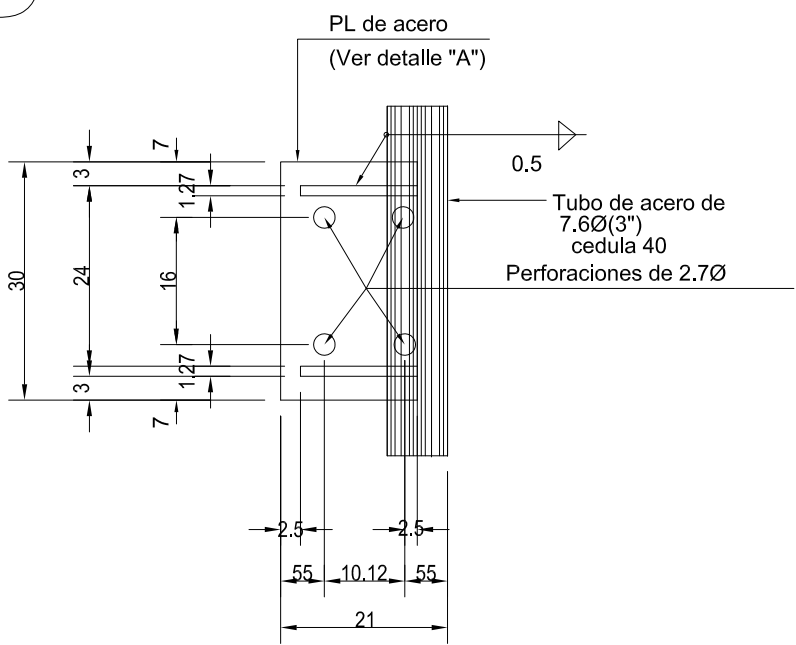
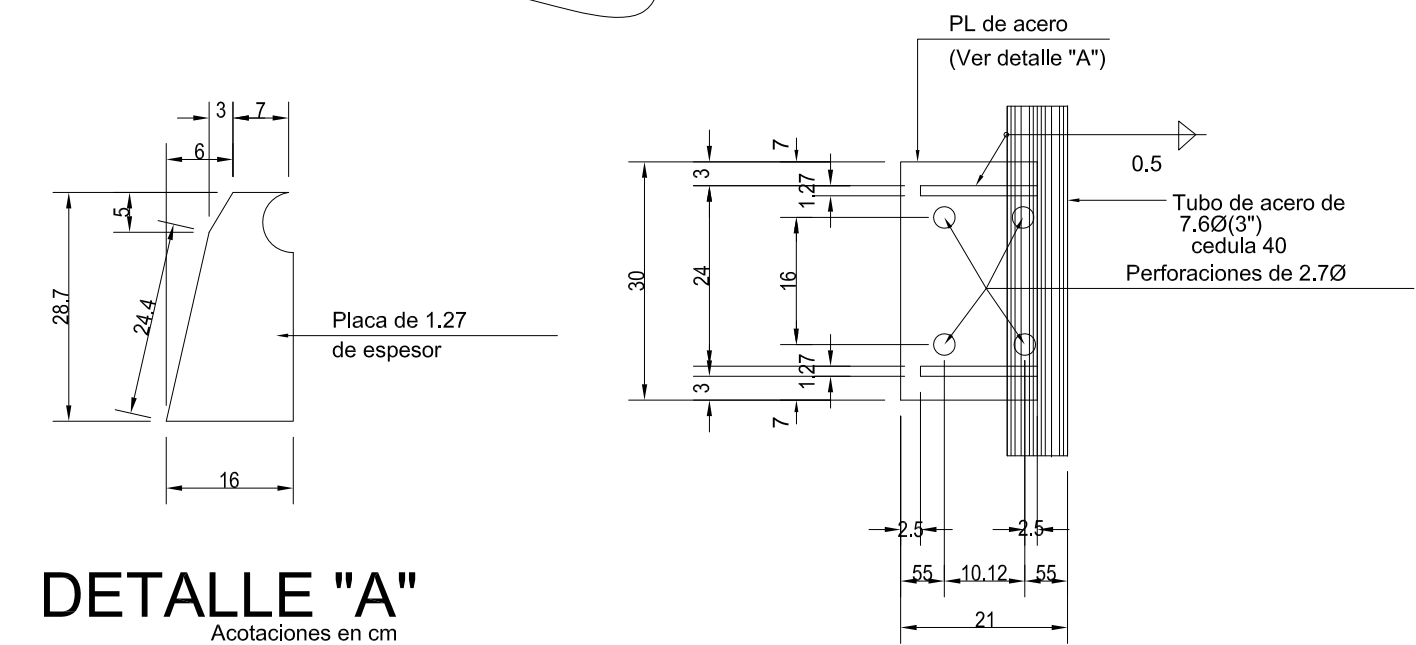
**ELEVACION**  
Acotaciones en cm

**PILASTRAS**  
Acotaciones en cm



**DETALLE DE LA JUNTA**  
Acotaciones en cm

**DETALLE DE LA TAPA**  
Acotaciones en cm



**DETALLE "A"**  
Acotaciones en cm

**PLANTA**  
Acotaciones en cm

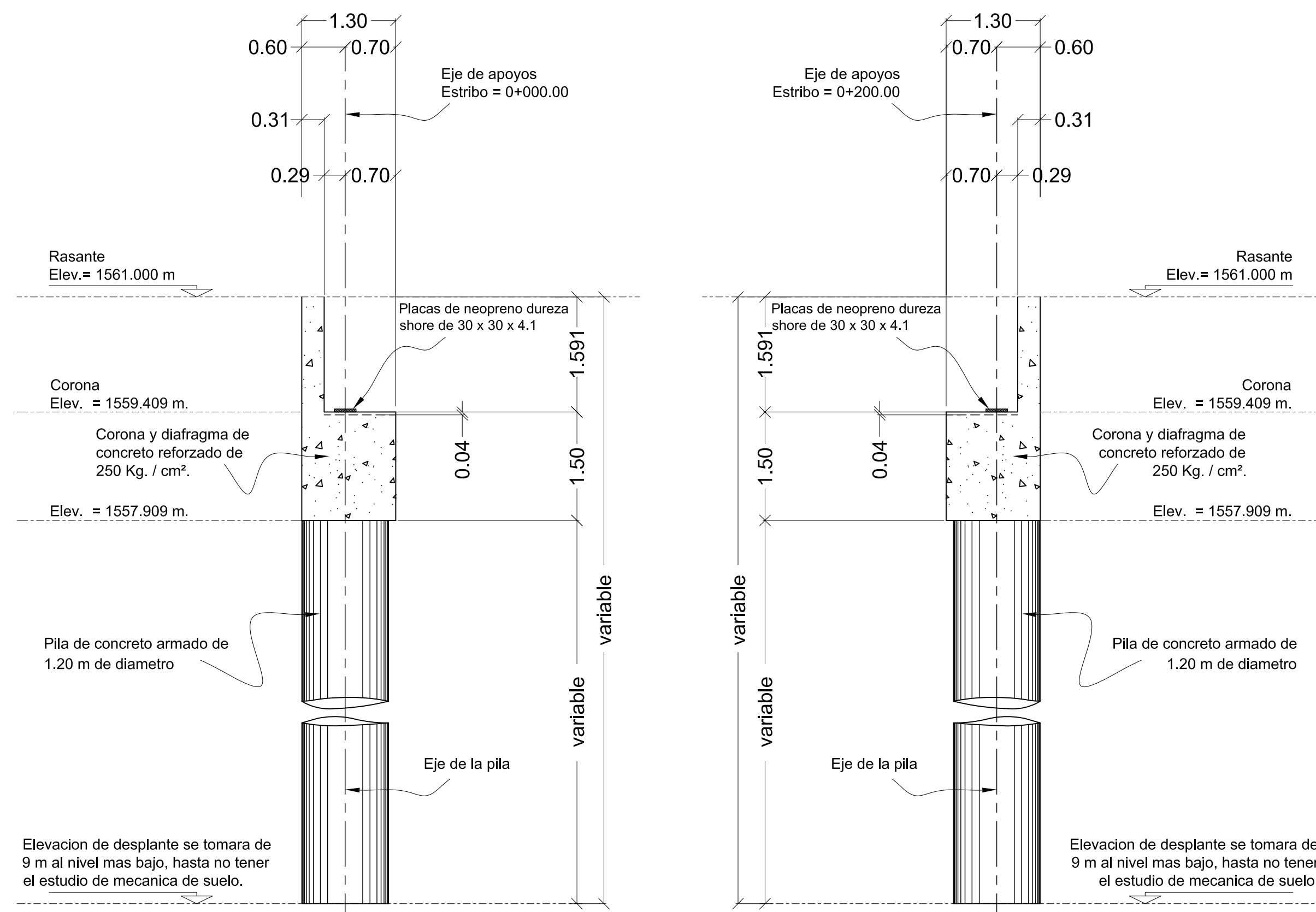
**DETALLES PARAPETO**

**REFUERZO EN DIAFRAGMA**

|  |  |   |  |  |  |
|--|--|---|--|--|--|
|  |  | <p><b>UNIVERSIDAD DON VASCO</b><br/>Incorporación No. 8727-15<br/>A la Universidad Autónoma de México<br/><b>ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL</b><br/>URUAPAN, MICHOACÁN</p> |  |  |  |
| <p>Tesis que para obtener el título de ingeniero civil presenta:</p> <p align="center"><b>MIGUEL MADRIGAL MAGAÑA</b></p>   |  |   |  |  |  |
| <p>Proyecto:<br/>Diseño estructural de la superestructura de puente para comunicar la comunidad de Jicalán con la ciudad de Uruapan sobre el Río Cupatitzio.</p> |  |   |  |  |  |
| <p>Obra:<br/>Superestructura de puente</p>   |  | <p>Plano:<br/><b>DIAFRAGMA Y PARAPETO</b></p>   |  |  |  |
| <p>Escala:<br/>Sin escala las cotas rigen al dibujo</p>  |  | <p>Carretera:<br/>Zumpitito - Jicalán</p>   |  |  |  |
| <p>Plano:<br/>3</p>  |  | <p>Acotación:<br/>metros</p>  |  | <p>Asesor:<br/>M.I. ENRIQUE OMAR NAVARRO CABALLERO</p> |  |

# NOTAS:

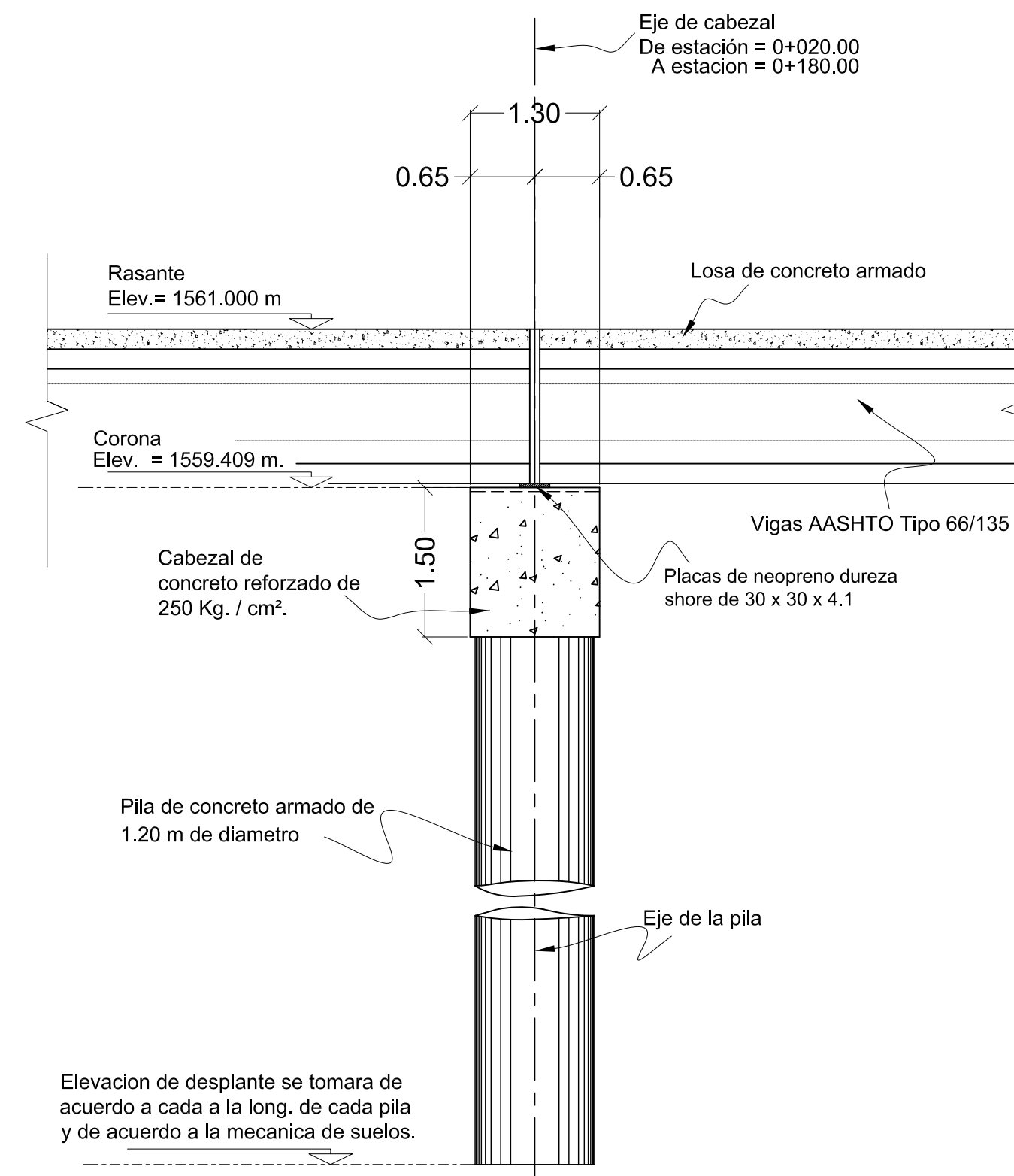
- DIMENSIONES:** En metros, excepto las indicadas en otra unidad.  
**ELEVACIONES:** En metros, referidas al BN1.  
**ESPECIFICACIONES:** Es aplicable la última edición de las normas de construcción de la S.C.T.  
**ACERO:** Acero de refuerzo con  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ .  
**CONCRETO:** Se usará concreto de  $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$  con rev. de 5 a 10 cm y agregado grueso con tamaño máximo de 4 cm.  
**APLICACIÓN DE PROYECTO:** Carga móvil HS - 20.  
**ACERO DE REFUERZO:** Los empalmes de las varillas podrán hacerse traslapandolas con soldadura a tope, procurando el menor número de empalmes.  
**RECOMENDACIONES DE CONSTRUCCIÓN:** Una vez colocadas las traveses en su posición correcta sobre las placas de neopreno, se procederá a armar y cimbrar los diafragmas y la losa, para lo cual deberá haberse ya descubierto y desdoblado las varillas de anclaje para los diafragmas que se dejarán pegadas al molde de las traveses. Una vez realizadas estas operaciones, se colocarán los elementos vibrando convenientemente el concreto, se tendrá cuidado de dejar anclados y en posición las varillas de las guarniciones y del parapeto. La cimbra podrá retirarse cuando el concreto de la losa y los diafragmas alcancen una resistencia mínima de  $200 \text{ kg/cm}^2$  pero no antes de 7 días desde la fecha de colado procediendo en seguida a la construcción de las guarniciones, banquetas y parapetos. Cuando estos concretos hayan fraguado se procederá a colocar la carpeta asfáltica, el puente podrá abrirse al tránsito, cuando los concretos de todos los colados alcancen sus resistencias de proyecto en forma satisfactoria.



CORTE A-A

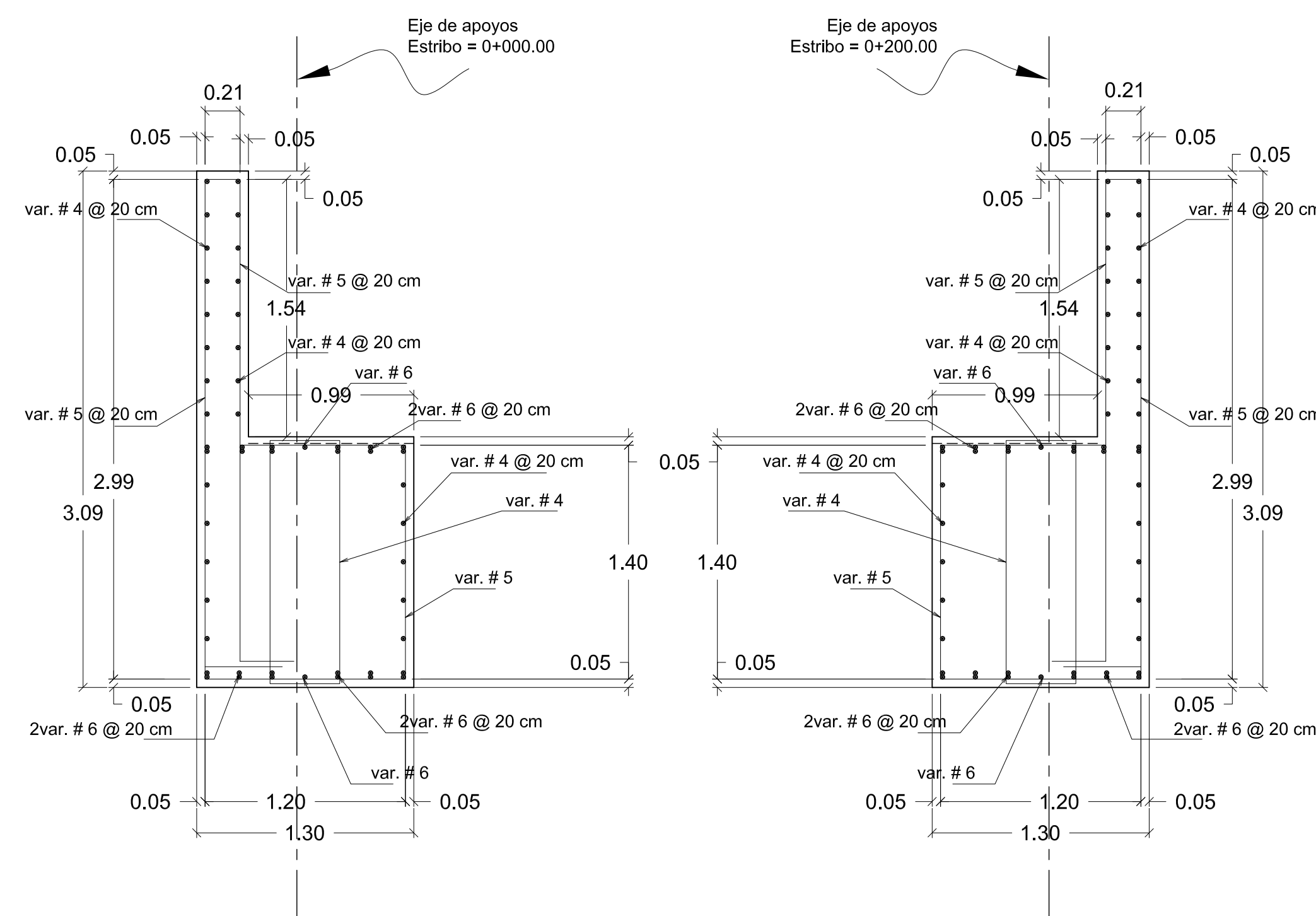
CORTE A-A

CORTE A-A DETALLE DE ESTRIBOS



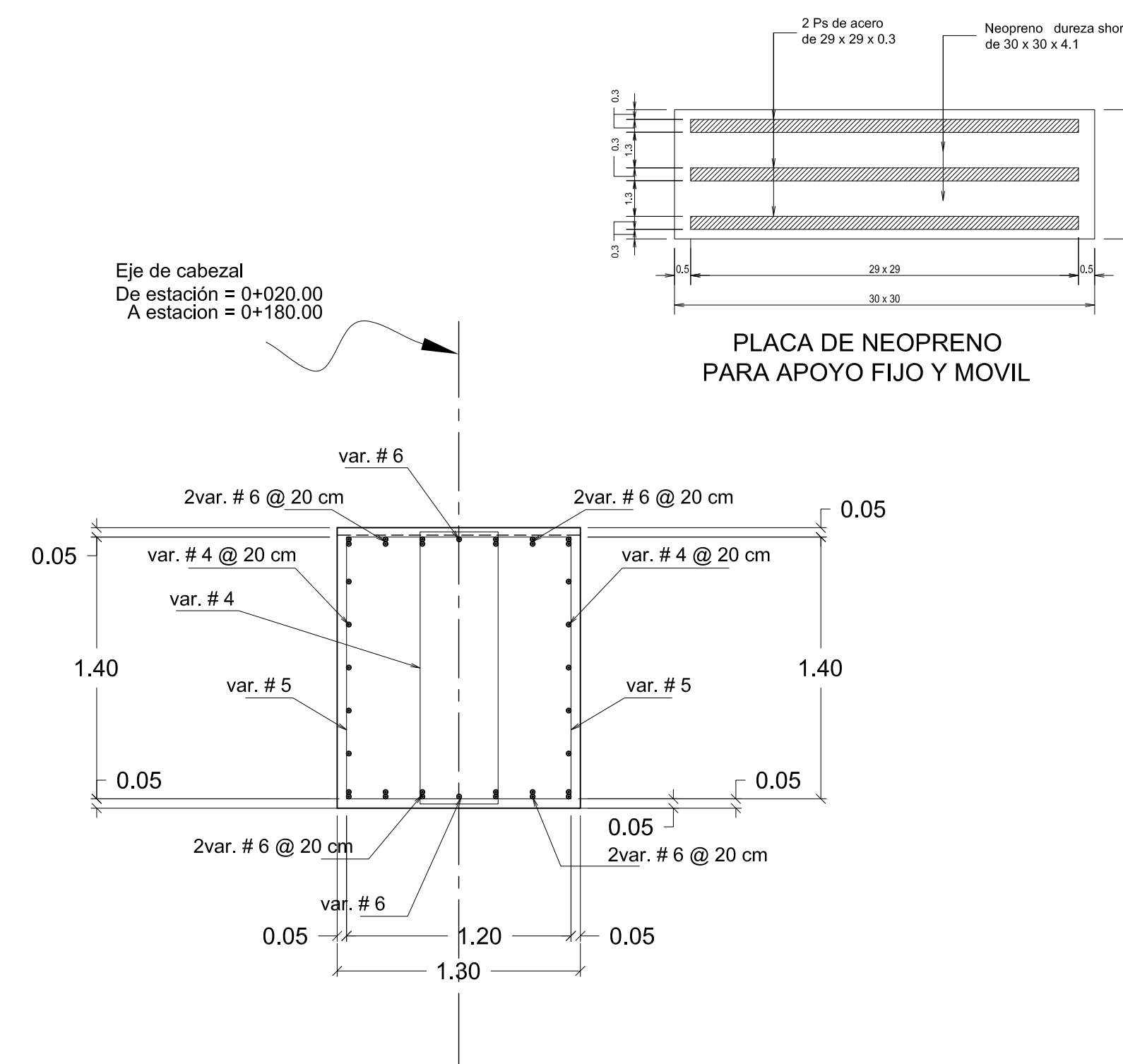
CORTE B-B

CORTE B-B DETALLE DE CABEZAL



CORTE A-A

REFUERZO DE CABEZAL EST. 0+000 Y 0+200



CORTE B-B

REFUERZO DE CABEZAL EST. DESDE 0+020 HASTA 0+180



LUGAR DEL PUEBLO

## LOCALIZACIÓN



**UNIVERSIDAD DON VASCO**  
 Incorporación No. 8727-15  
 A la Universidad Autónoma de México  
**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**  
 URUAPAN, MICHOACÁN

Tesis que para obtener el título de ingeniero civil presenta:

**MIGUEL MADRIGAL MAGAÑA**

**Proyecto:**  
 Diseño estructural de la superestructura de puente para comunicar la comunidad de Jicalán con la ciudad de Uruapan sobre el Río Cupatitzio.

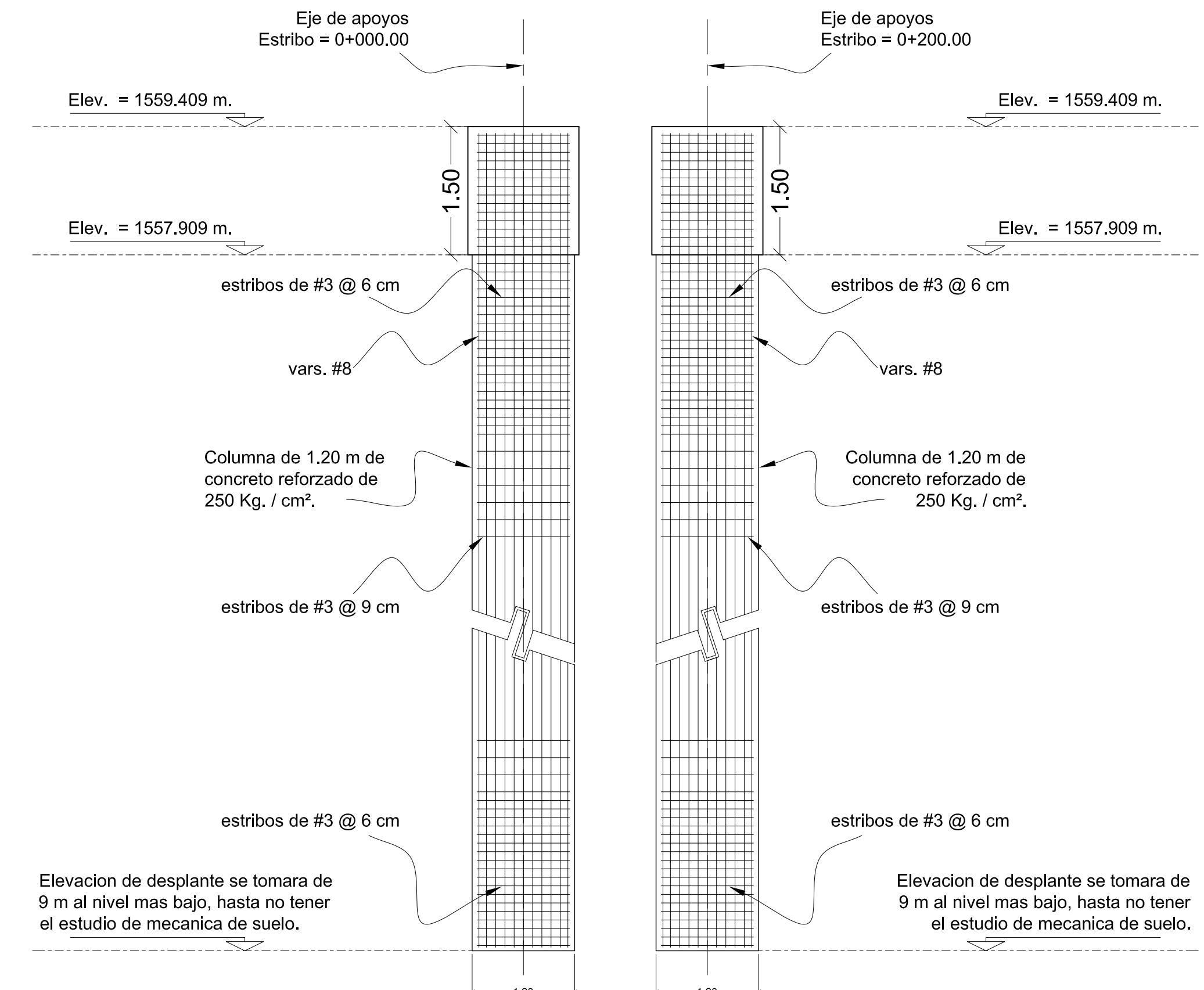
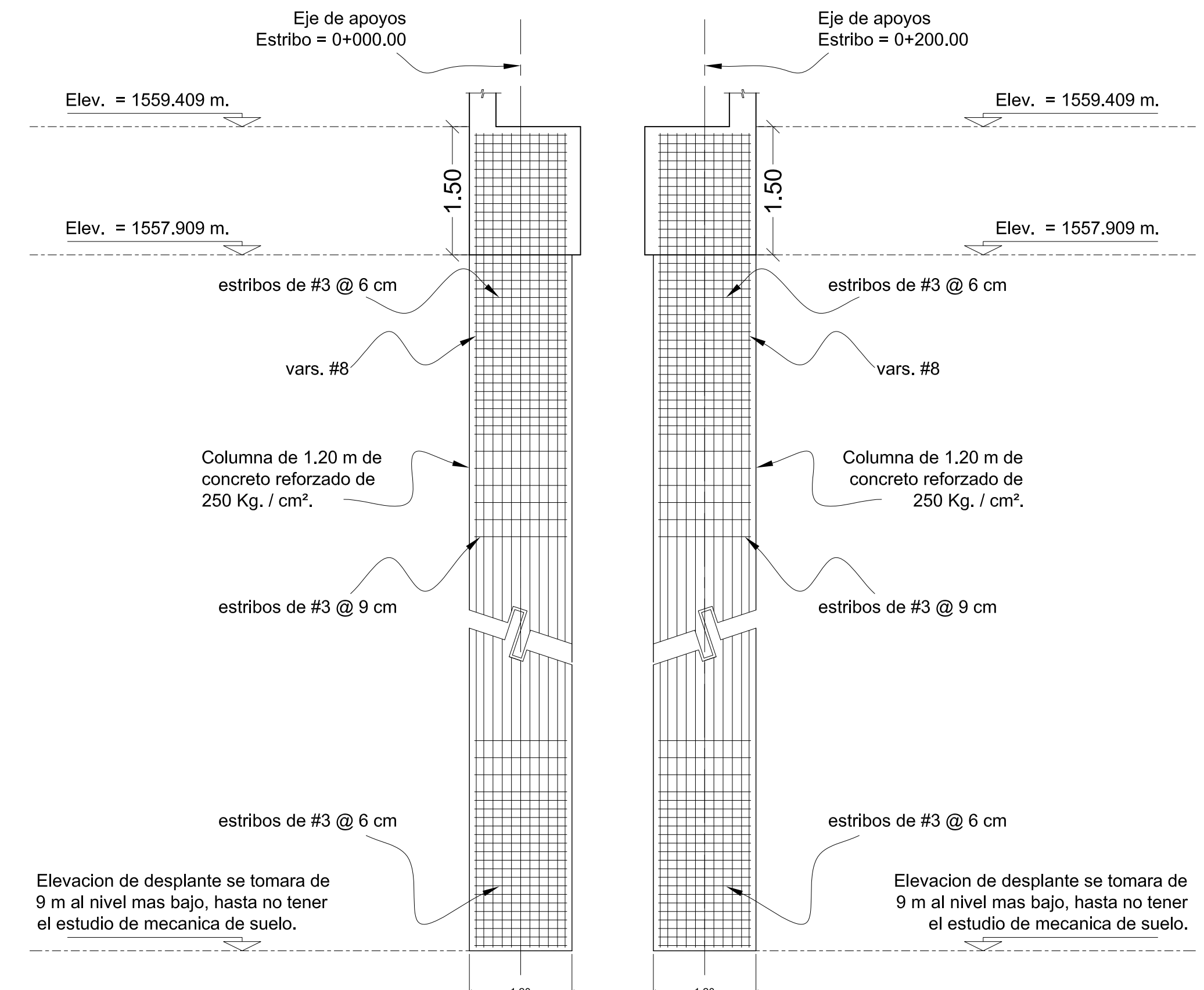
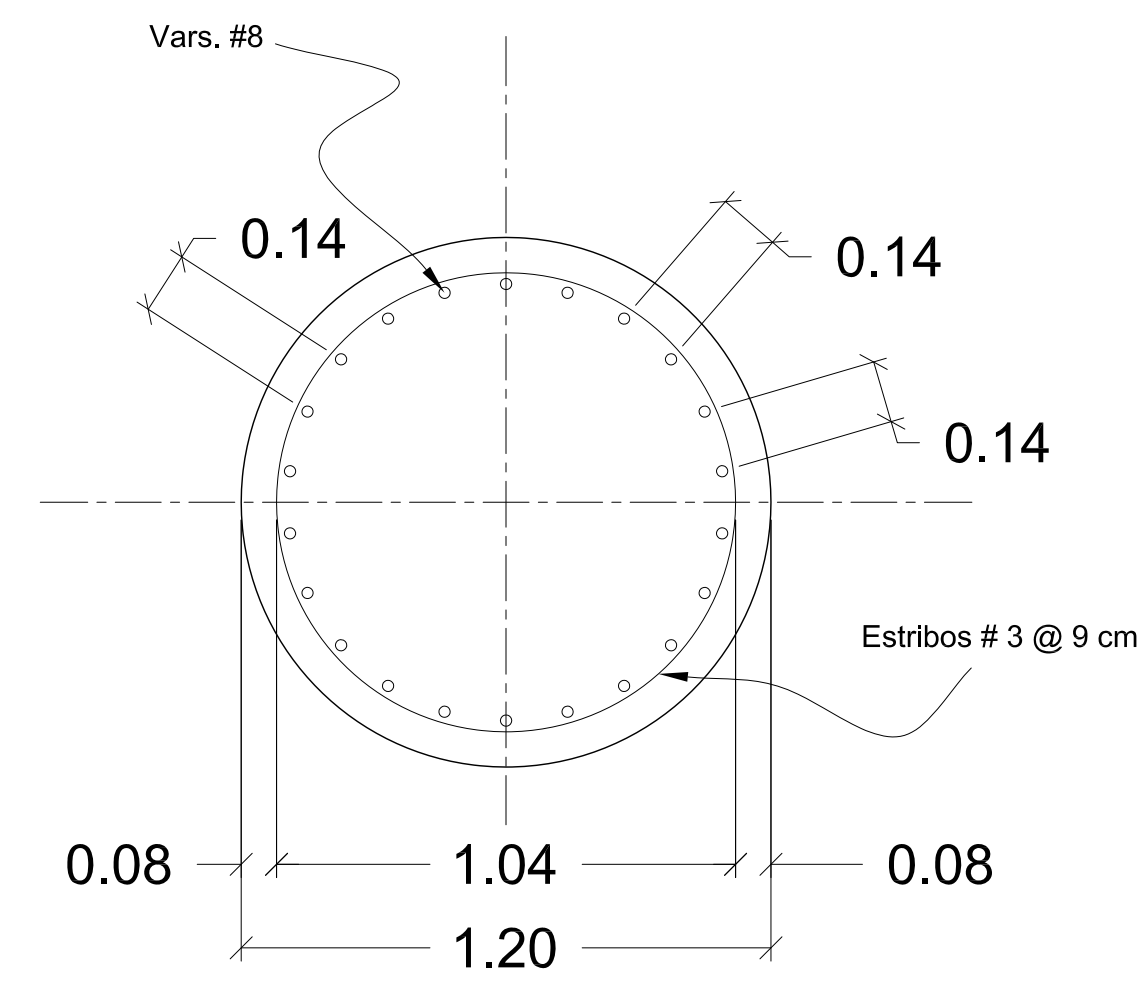
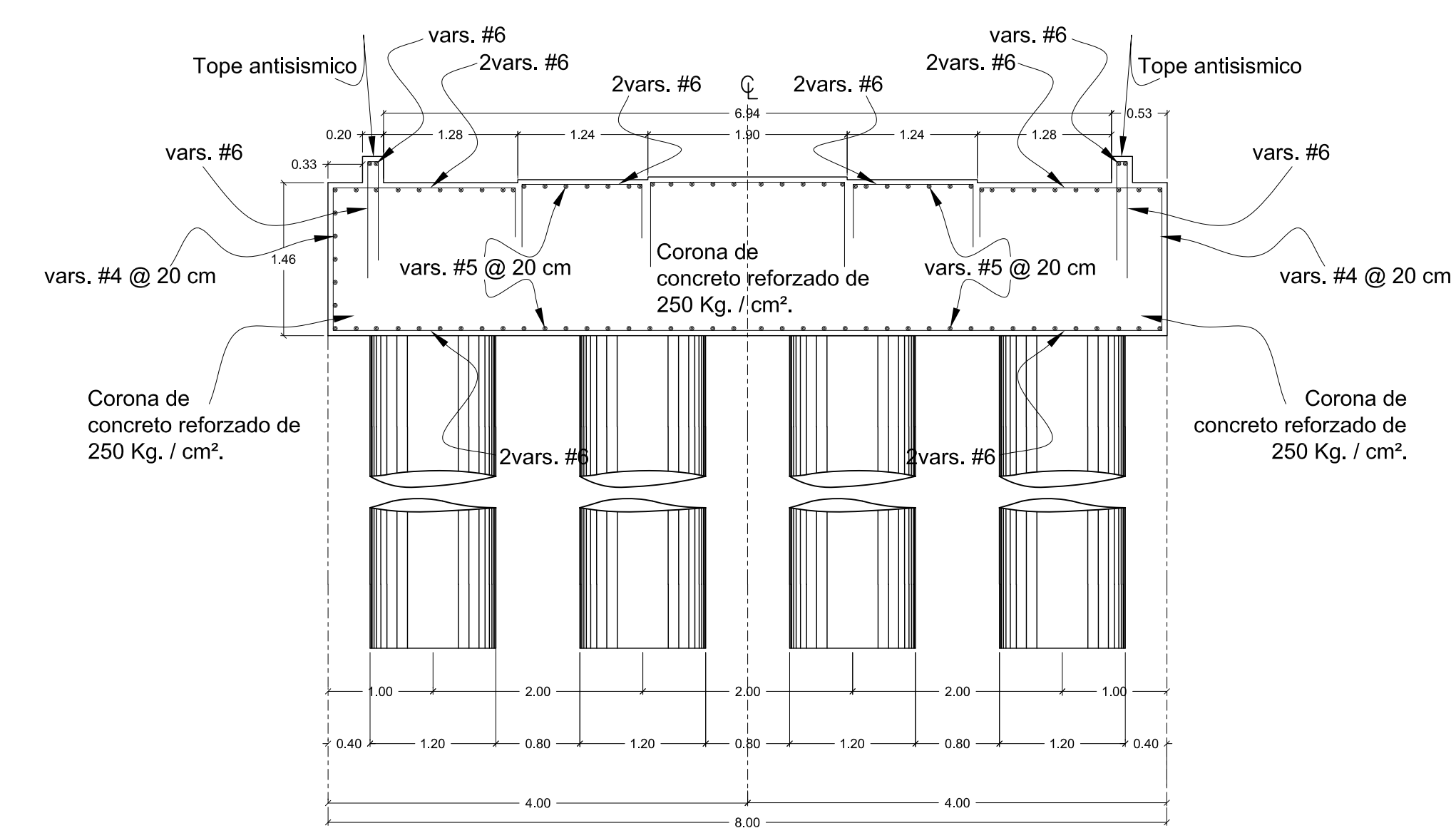
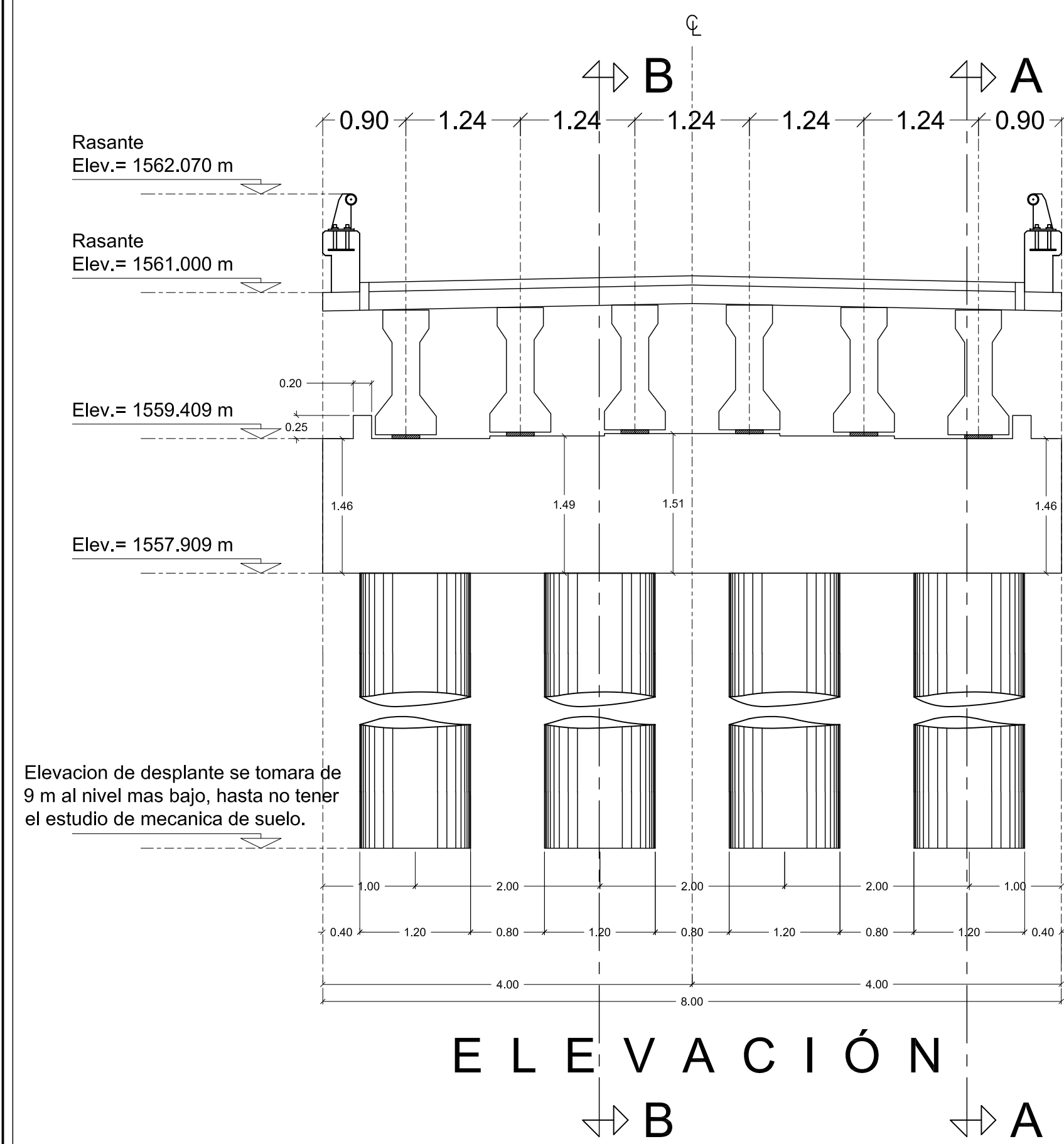
**Obra:** Superestructura de puente  
**Plano:** CABEZAL INTERMEDIOS Y ESTRIBOS

**Escala:** Sin escala las cotas rigen al dibujo  
**Carretera:** Zumpimito - Jicalán

**Plano:** 4  
**Acotación:** metros  
**Asesor:** M.I. ENRIQUE OMAR NAVARRO CABALLERO

# NOTAS:

**DIMENSIONES:** En metros, excepto las indicadas en otra unidad.  
**ELEVACIONES:** En metros, referidas al BN1.  
**ESPECIFICACIONES:** Es aplicable la última edición de las normas de construcción de la S.C.T.  
**ACERO:** Acero de refuerzo con  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ .  
**CONCRETO:** Se usará concreto de  $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$  con rev. de 5 a 10 cm y agregado grueso con tamaño máximo de 4 cm.  
**APLICACIÓN DE PROYECTO:** Carga móvil HS - 20.  
**ACERO DE REFUERZO:** Los empalmes de las varillas podrán hacerse traslapandolas con soldadura a tope, procurando el menor número de empalmes.  
**RECOMENDACIONES DE CONSTRUCCIÓN:** Una vez colocadas las traveses en su posición correcta sobre las placas de neopreno, se procederá a armar y cimbrar los diafragmas y la losa, para lo cual deberá haberse ya descubierto y desdoblado las varillas de anclaje para los diafragmas que se dejarán pegadas al molde de las traveses. Una vez realizadas estas operaciones, se colocarán los elementos vibrando convenientemente el concreto, se tendrá cuidado de dejar anclados y en posición las varillas de las guarniciones y del parapeto. La cimbra podrá retirarse cuando el concreto de la losa y los diafragmas alcancen una resistencia mínima de  $200 \text{ kg/cm}^2$  pero no antes de 7 días desde la fecha de colado procediendo en seguida a la construcción de las guarniciones, banquetas y parapetos. Cuando estos concretos hayan fraguado se procederá a colocar la carpeta asfáltica, el puente podrá abrirse al tránsito, cuando los concretos de todos los colados alcancen sus resistencias de proyecto en forma satisfactoria.



## LOCALIZACIÓN



**UNIVERSIDAD DON VASCO**  
 Incorporación No. 8727-15  
 A la Universidad Autónoma de México  
**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**  
 URUAPAN, MICHOACÁN



Tesis que para obtener el título de ingeniero civil presenta:

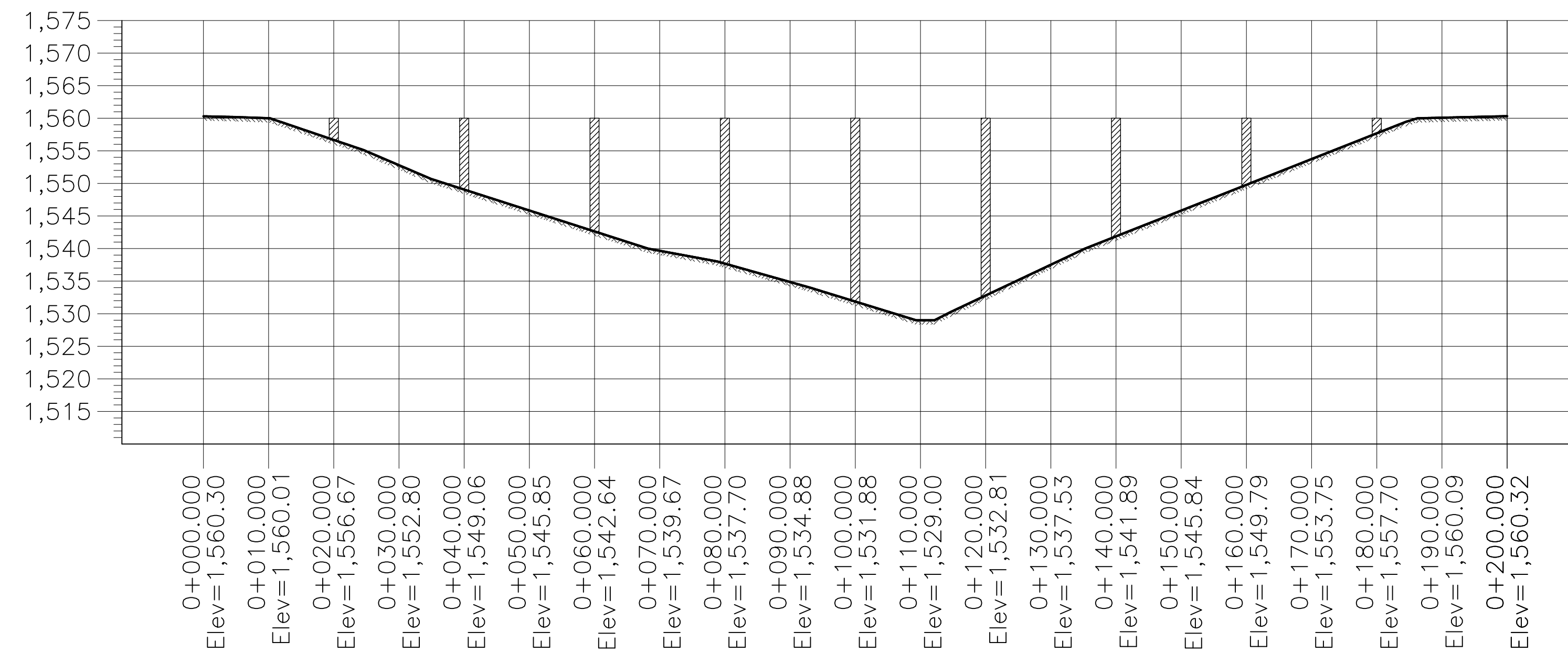
**MIGUEL MADRIGAL MAGAÑA**

*Proyecto:* Diseño estructural de la superestructura de puente para comunicar la comunidad de Jicalán con la ciudad de Uruapan sobre el Río Cupatitzio.

|   |                                       |
|---|---------------------------------------|
| <i>Obra:</i> Superestructura de puente              | <i>Plano:</i> CABEZAL Y COLUMNAS      |
| <i>Escala:</i> Sin escala las cotas rigen al dibujo | <i>Carretera:</i> Zumpimito - Jicalán |
| <i>Plano:</i> 5                                     | <i>Acotación:</i> metros              |
| <i>Asesor:</i> M.I. ENRIQUE OMAR NAVARRO CABALLERO  |                                       |

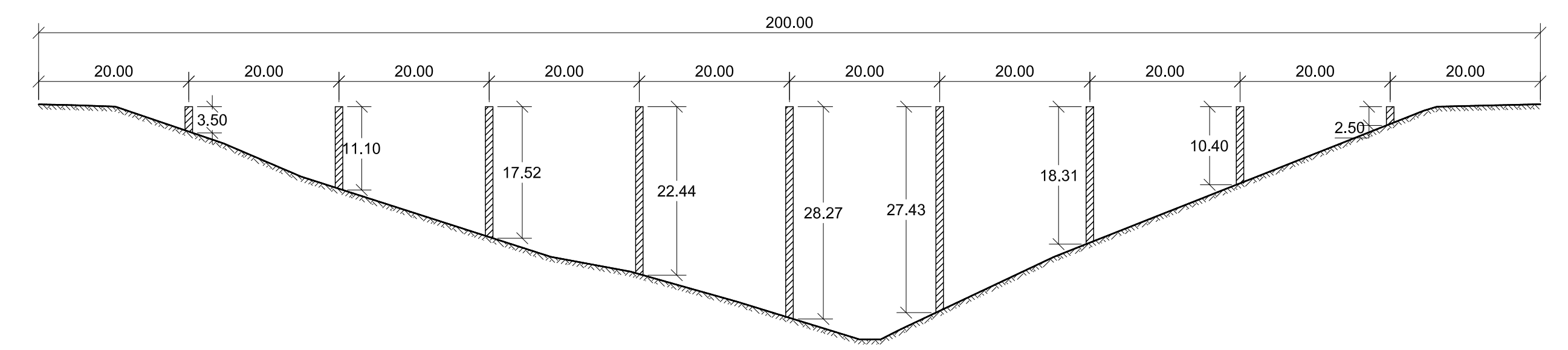
**REFUERZO EN PILAS DE ESTRIBOS**

**REFUERZO EN PILAS CENTRALES**

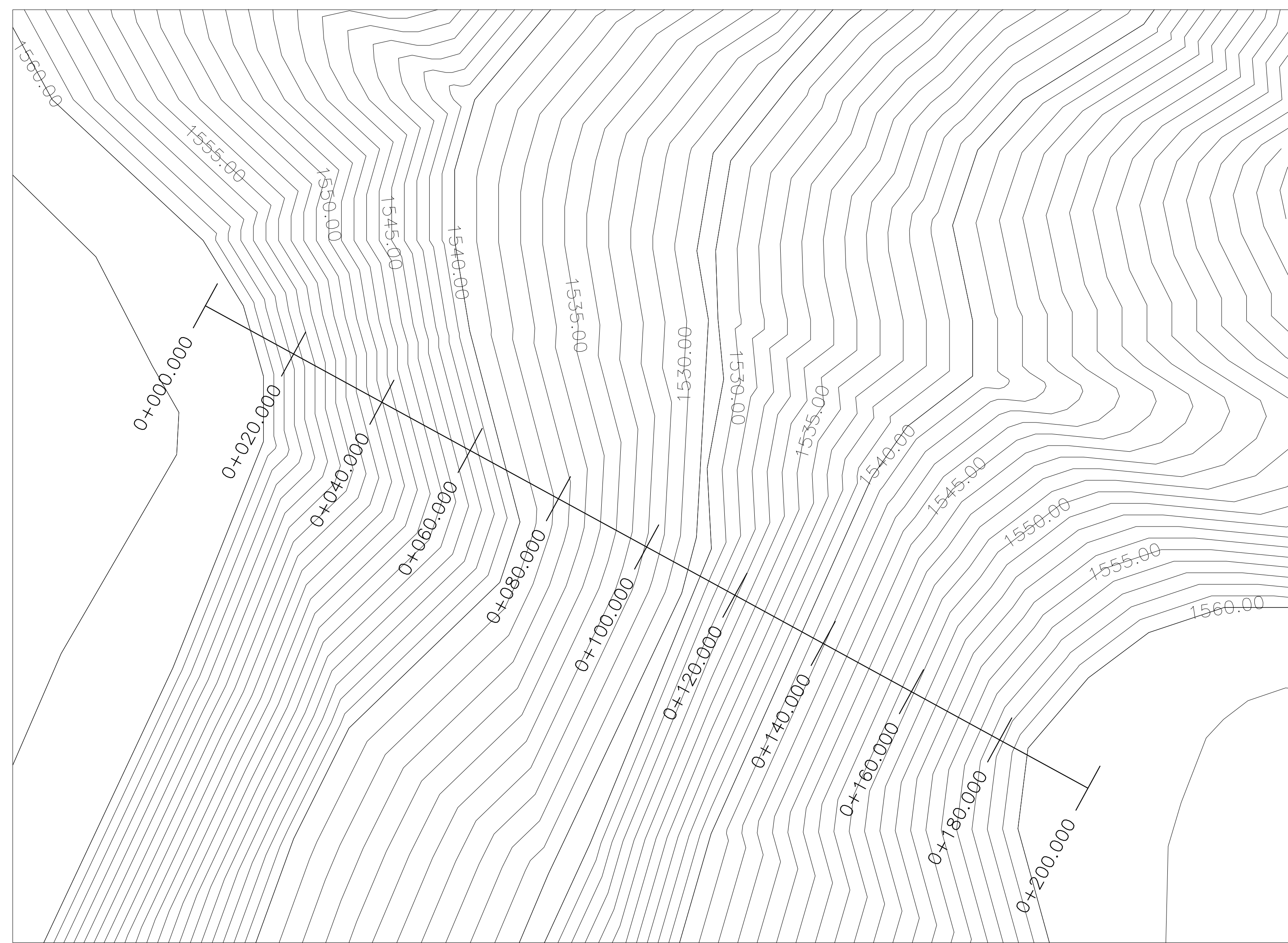


PERFIL TOPOGRAFICO

ESCALA HORIZONTAL 1 : 1  
 ESCALA VERTICAL 1 : 1



UBICACION DE COLUMNAS



CURVAS DE NIVEL



LOCALIZACIÓN

|  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|
|  |  | <b>UNIVERSIDAD DON VASCO</b><br>Incorporación No. 8727-15<br>A la Universidad Autónoma de México<br><b>ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL</b><br>URUAPAN, MICHOACÁN |  |  |  |
| Tesis que para obtener el título de ingeniero civil presenta:<br><b>MIGUEL MADRIGAL MAGAÑA</b>   |  |  |  |  |  |
| Proyecto:<br>Diseño estructural de la superestructura de puente para comunicar la comunidad de Jicalán con la ciudad de Uruapan sobre el Río Cupatitzio. |  |  |  |  |  |
| Obra:<br>Superestructura de puente   |  | Plano:<br>LOCALIZACION Y TOPOGRAFIA  |  |  |  |
| Escala:<br>Sin escala las cotas rigen al dibujo  |  | Carretera:<br>Zumpimito - Jicalán  |  |  |  |
| Plano:<br>6  |  | Acotación:<br>metros   |  | Asesor:<br>M.I. ENRIQUE OMAR NAVARRO CABALLERO |  |