

28



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGÓN**

**“PROCESO PARA LA ELECCIÓN DE  
LA MEJOR ALTERNATIVA DEL TIPO  
DE PUENTE CARRETERO”**

**T E S I S**

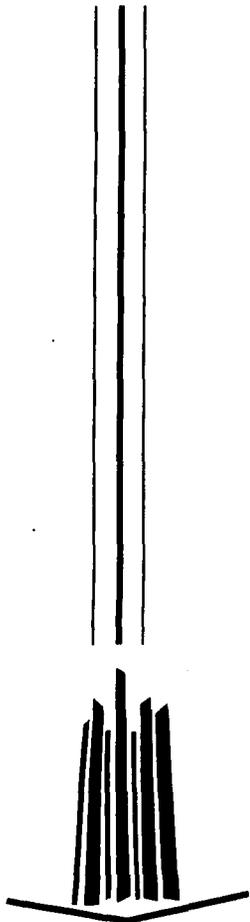
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
**INGENIERO CIVIL**  
P R E S E N T A :  
**LEONARDO HORTA RAMÍREZ**

ASESOR: ING. IGNACIO ENRIQUE HERNÁNDEZ QUINTO

SAN JUAN DE ARAGÓN ESTADO DE MÉXICO

2002

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**





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.

# PAGINACION DISCONTINUA

## **AGRADECIMIENTOS.**

*A MIS PADRES.*

†LEONARDO HORTA MANCERA  
MA. MARTHA RAMÍREZ ROSILLO  
PORQUE GRACIAS A SU AMOR Y APOYO HE PODIDO LLEGAR HASTA AQUÍ.

*A MI HERMANO.*

PARA QUIEN ESPERO QUE ESTO LE SIRVA COMO EJEMPLO, PARA QUE SIGA ADELANTE.

*A TODA MI FAMILIA.*

QUIENES DE ALGUNO U OTRO MODO ME HAN EXHORTADO Y APOYADO EN TODO MOMENTO, EN LAS BUENAS Y EN LAS MALAS, Y A QUIENES ESPERO CORRESPONDER EN LA MISMA MANERA.

*A TODOS MIS PROFESORES.*

PORQUE GRACIAS A SUS ENSEÑANZAS, SE HAN CONVERTIDO EN PARTE ESENCIAL EN MI FORMACIÓN.

*AGRADECIMIENTO ESPECIAL.*

AL ING. IGNACIO ENRIQUE HERNÁNDEZ QUINTO.  
POR TODO SU APOYO Y BRINDADO PARA LA REALIZACIÓN DE ESTE TRABAJO.

*AGRADECIMIENTO ESPECIAL.*

AL ING. GILBERTO GARCÍA SANTAMARÍA GONZÁLEZ.  
POR TODO SU APOYO Y COMPENSIÓN BRINDADOS COMO PROFESOR Y AMIGO, EN MOMENTOS DIFÍCILES.

*Y SOBRE TODO, GRACIAS A DIÓS.*

QUIEN A PESAR DE LAS ADVERSIDADES, ME HA DADO LA FUERZA Y LA ENTEREZA PARA SEGUIR ADELANTE.

**A LA MEMORIA DE MI PADRE.**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## INDICE

### "PROCESO PARA LA ELECCION DE LA MEJOR ALTERNATIVA DEL TIPO DE PUENTE CARRETERO"

|  | Página    |
|--|-----------|
| <b>I) INTRODUCCIÓN</b>   | <b>3</b>  |
| 1.1 ORIGEN DE LOS CAMINOS COMO MEDIOS DE COMUNICACIÓN.         | 3         |
| 1.2 CONOCIMIENTO DE LOS PUENTES                                | 4         |
| 1.3 RAZÓN DE SER DE LOS PUENTES                                | 5         |
| 1.3.1 RAZÓN Y SER DE LOS PUENTES COMO ELEMENTOS ESTRUCTURALES. | 6         |
| 1.3.2 RAZÓN Y SER DE LOS PUENTES EN MÉXICO.                    | 8         |
| 1.4 IMPORTANCIA DE LOS PUENTES.                                | 9         |
| <br>   |           |
| <b>II) ANTECEDENTES</b>  | <b>13</b> |
| 2.1 LOS PRIMEROS PUENTES EN EL MUNDO.                          | 13        |
| 2.2 PRIMEROS PUENTES EN MÉXICO.                                | 15        |
| 2.2.1 ÉPOCA VIRREYNAL.   | 15        |
| 2.2.2 ÉPOCA INDEPENDIENTE.                                     | 16        |
| 2.2.3 PRIMEROS PUENTES MODERNOS.                               | 16        |
| 2.3 DESARROLLO DE LA TECNOLOGÍA DE LOS PUENTES CARRETEROS.     | 18        |
| 2.4 AVANCES EN LA TECNOLOGÍA DE PUENTES EN LOS ÚLTIMOS AÑOS.   | 19        |
| 2.5 CLASIFICACIÓN DE LOS PUENTES.                              | 21        |
| <br>   |           |
| <b>III) OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN PRELIMINAR.</b>            | <b>31</b> |
| 3.1 OBTENCIÓN DE LA MAYOR INFORMACIÓN POSIBLE DEL LUGAR.       | 31        |
| 3.1.1 IMPORTANCIA DE LA OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN PRELIMINAR.   | 31        |
| 3.1.2 BUSQUEDA DE LA INFORMACIÓN.                              | 32        |
| 3.2 LEVANTAMIENTOS EN EL CAMPO.                                | 33        |
| 3.2.1 IMPORTANCIA DE LOS LEVANTAMIENTOS EN EL SITIO.           | 33        |

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 3.2.2 | LEVANTAMIENTOS Y RECONOCIMIENTO DE LA RUTA.   | 34 |
| 3.2.3 | LEVANTAMIENTOS PARA EL PROYECTO DE PUENTES.   | 35 |
| 3.3   | UBICACIÓN Y ESTUDIO DE LOS POBLADOS CERCANOS. | 38 |
| 3.4   | TRABAJOS DE EXPLORACIÓN.                      | 39 |
| 3.4.1 | LA EXPLORACIÓN DE LA SUPERFICIE DEL CAUCE.    | 39 |
| 3.4.2 | ALINEAMIENTO DEL CAUCE.                       | 41 |

#### IV) ESTUDIOS TÉCNICOS. 45

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 4.1   | IMPORTANCIA DE LOS ESTUDIOS TÉCNICOS.                                 | 45 |
| 4.2   | ESTUDIOS DE INGENIERÍA DE TRÁNSITO.                                   | 47 |
| 4.2.1 | DEMANDA DE LAS VÍAS DE COMUNICACIÓN.                                  | 47 |
| 4.2.2 | ASPECTOS IMPORTANTES DE LA INGENIERÍA DE TRÁNSITO.                    | 49 |
| 4.2.3 | TRÁNSITO EN EL CARRIL DE DISEÑO.                                      | 50 |
| 4.2.4 | FACTOR DE PROYECCIÓN A FUTURO.  | 52 |
| 4.2.5 | EL FACTOR ECONÓMICO. CRITERIOS DE EVALUACIÓN.                         | 52 |
| 4.3   | ELECCIÓN DEL CRUCE.   | 57 |
| 4.4   | ESTUDIOS TOPOHIDRÁULICOS.   | 68 |
| 4.4.1 | ASPECTOS IMPORTANTES.   | 69 |
| 4.4.2 | ÁREA HIDRÁULICA DEL PUENTE.   | 71 |
| 4.4.3 | ESTUDIO HIDROLÓGICO.  | 74 |
| 4.5   | ESTUDIOS GEOTÉCNICOS.   | 76 |
| 4.5.1 | PROCESO DE FORMACIÓN DE LAS ROCAS.                                    | 77 |
| 4.5.2 | ORIGEN Y TIPOS DE SUELO.  | 81 |
| 4.5.3 | ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS.   | 83 |
| 4.6   | ESTUDIOS DE MECÁNICA DE SUELOS Y CIMENTACIÓN.                         | 86 |
| 4.6.1 | FINALIDAD DE LOS ESTUDIOS.  | 86 |
| 4.6.2 | ESTUDIOS DE CIMENTACIÓN.  | 87 |
| 4.7   | ESTUDIOS DE PAVIMENTOS.   | 92 |
| 4.7.1 | CLASIFICACIÓN DE LOS PAVIMENTOS.                                      | 93 |
| 4.7.2 | CARACTERÍSTICAS Y PRUEBAS DE LOS MATERIALES.                          | 93 |
| 4.7.3 | IMPORTANCIA DE LA INGENIERÍA DE PAVIMENTOS EN EL PROYECTO DE PUENTES. | 96 |
| 4.8   | ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL.  | 97 |
| 4.8.1 | EL IMPACTO AMBIENTAL Y LA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS Y PUENTES.          | 98 |

#### V) DEFINICIÓN DE LAS POSIBLES ALTERNATIVAS. 103

|         |   |     |
|---------|---|-----|
| 5.1     | ELEMENTOS QUE FORMAN LA ESTRUCTURA DE UN PUNTE.     | 103 |
| 5.1.1   | SUPERESTRUCTURA.                                    | 103 |
| 5.1.2   | SUBESTRUCTURA.                                      | 107 |
| 5.1.3   | INFRAESTRUCTURA.                                    | 112 |
| 5.1.4   | EQUIPAMIENTO.                                       | 118 |
| 5.1.5   | ACCESOS.  | 121 |
| 5.1.6   | ELEMENTOS DE LIGA.                                  | 122 |
| 5.2     | FORMULACIÓN DE ALTERNATIVAS.                        | 123 |
| 5.2.1   | INFRAESTRUCTURA O CIMENTACIÓN.                      | 127 |
| 5.2.2   | DEFINICIÓN DE ALTERNATIVAS PARA LA SUBESTRUCTURA.   | 130 |
| 5.2.3   | DEFINICIÓN DE ALTERNATIVAS PARA LA SUPERESTRUCTURA. | 141 |
| 5.2.3.1 | PUNTES DETERMINADOS O INDETERMINADOS ESTÁTICAMENTE. | 143 |
| 5.2.3.2 | PUNTES DE PASO INFERIOR, SUPERIOR Y A TRAVÉS.       | 145 |
| 5.2.3.3 | PUNTES MÓVILES.                                     | 147 |

**VI) EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS. 153**

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 6.1   | ASPECTOS FUNDAMENTALES EN LA EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS. | 153 |
| 6.2   | CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS.                 | 155 |
| 6.2.1 | ASPECTO ECONÓMICO - FINANCIERO.                              | 155 |
| 6.2.2 | ASPECTO FUNCIONAL Y DE CONSTRUCCIÓN.                         | 156 |
| 6.3   | SELECCIÓN FINAL.   | 163 |

**VII) CONCLUSIONES. 167**

**GLOSARIO DE TÉRMINOS.**

**BIBLIOGRAFÍA.**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

# I) INTRODUCCIÓN.

Uno de los placeres mas grandes de la vida, es hacer lo que la gente dice que no podemos.

**Walter Bagehot.**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

---

## I) INTRODUCCIÓN

### 1.1 ORIGEN DE LOS CAMINOS COMO MEDIOS DE COMUNICACIÓN.

A lo largo de la historia, desde el nacimiento de las primeras culturas, el medio de comunicación a significado un punto de gran importancia, ya que como aspecto económico y cultural el hombre siempre ha tenido la necesidad de intercambiar tanto ideas como productos, o por el simple hecho de ampliar sus dominios.

En un principio el medio de comunicación mas dominado por el hombre, fue la técnica de la navegación, los grandes cuerpos de agua como lo son los mares, ríos y lagos fueron recorridos en busca de nuevos sitios y nuevos grupos humanos.

El conocimiento de la existencia de nuevos pueblos y las relaciones entre ellos, no hubiese sido posible si no se hubiera dominado esta técnica.

Por el mismo motivo, el transporte terrestre representaba un gran atraso con respecto al marítimo, ya que no podían recorrerse grandes distancias en poco tiempo, y no fue si no hasta el descubrimiento de la rueda cuando comenzaron a surgir los primeros caminos terrestres.

El descubrimiento de la rueda genera la necesidad de que exista una superficie de rodamiento, por lo que se crean caminos basándose en roca triturada apisonada.

Con la llegada del siglo XVIII, y junto con el descubrimiento de la máquina de vapor, aparece el ferrocarril, el cual fue el primer transporte terrestre capaz de recorrer grandes distancias, además de transportar grandes cargas, y a partir de este momento se comienza a trabajar en los proyectos de caminos, con lo que se marca el inicio la creación de la infraestructura del transporte.

Sin embargo, no fue si no hasta a mediados del siglo XIX cuando realmente se nota el avance en el transporte terrestre con el ferrocarril, a pesar de que en el transporte fluvial y marítimo también se aprovecha del descubrimiento de la máquina de vapor, pero a pesar de esto el ferrocarril logra superar al transporte marítimo tanto en velocidad como en oportunidad y comodidad.

A principios del siglo XX, surge el primer vehículo automotor sobre neumáticos, por lo que es necesaria la creación de caminos que sean capaces de hacer cómoda la circulación de los vehículos.

Sobre todo después de algunos años, en los que la industria de la construcción de vehículos en serie comienza a proliferar de manera extraordinaria, también evoluciona la construcción de caminos que permiten recorrer grandes distancias en tiempos cortos, y de manera cómoda.

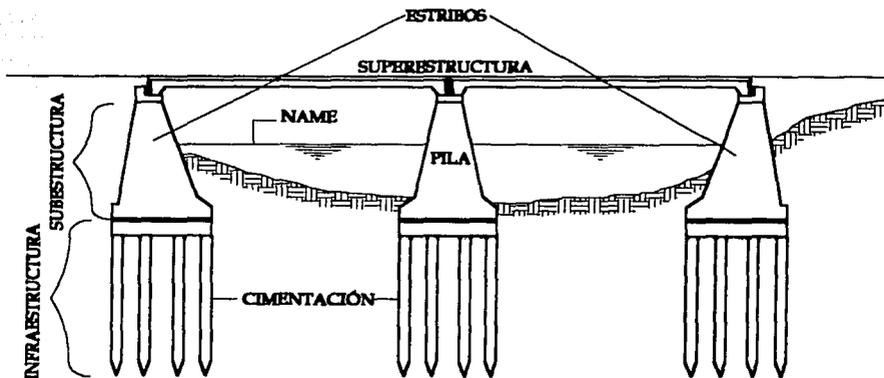
En la actualidad, podemos decir que la mayoría de la carga que se transporta en el interior del país, se hace mediante el transporte terrestre, por lo que se requiere tener un mayor avance en cuanto a la tecnología de construcción de mas y mejores caminos.

## 1.2 CONOCIMIENTO DE LOS PUENTES.

Los puentes podemos definirlos como, 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. Los que soportan un canal o conductos de agua se llaman acueductos. Los puentes construidos sobre terreno seco o en un valle y formados por un conjunto de tramos cortos se suelen llamar viaductos; se llaman pasos a desnivel los puentes que cruzan las autopistas y las vías de tren. Estas estructuras deben ser bien proyectadas, diseñadas y calculadas, para lo cual es necesario hacer toda una serie de estudios, ya que estos deben ser seguros, económicos y funcionales.

Las partes principales que componen un Puente, se ilustran en la siguiente figura:

### PARTES DE UN PUENTE.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Por otro lado, debemos mencionar que la construcción de los puentes ha permitido el crecimiento y desarrollo de ciudades que han logrado tener una gran importancia en todas partes del mundo, ya que estos le han permitido de algún modo, el acercamiento, y la accesibilidad a otros grupos.

En México los puentes han marcado de manera trascendente a algunos de los estados de la República, sobre todo los costeros, ya que son los principales productores de alimentos agrícolas, y como hemos mencionado en nuestro país la mayor parte de los productos se trasladan por medio carretero, por lo tanto la construcción de puentes para esto ha sido derribar la barrera de la comunicación y el tiempo.

Los puentes tienen la misma finalidad, sin embargo no siempre son diseñados para todo tipo de tránsito, y esto es lo que ha provocado algunos accidentes en diversas partes del mundo, por lo que debe ser necesario cambiar un poquito la cultura de los puentes en ese aspecto, para evitar ese tipo de accidentes, además de que se deben de colocar indicaciones para que los usuarios estén enterados del uso específico de dicho puente.

### **1.3 RAZÓN DE SER DE LOS PUENTES.**

Con la evolución tecnológica que ha permitido desarrollarse al transporte terrestre, los cuerpos de agua como lo son lagos, ríos, etc. se han convertido en obstáculos para este medio de comunicación y transporte.

A medida que la tecnología va permitiendo avances para el hombre, permite también que este amplíe sus dominios. El avance continuo de esta tecnología le da al hombre nuevas armas para poder librar los obstáculos que representan los grandes cuerpos de agua para el transporte terrestre; por lo tanto cuando estos obstáculos se superan, tecnológicamente aparecen los grandes puentes, que sin interrumpir el tránsito fluvial agilizan el tránsito terrestre, al sobrepasar el obstáculo que le oponen los cuerpos de agua, principalmente los ríos.

Esto de la construcción de puentes no es nuevo, ya que en la época del imperio romano, se construyeron grandes puentes, y considerando las desventajas tecnológicas que ellos tenían, es de asombrarse la exactitud en el cálculo y la colocación estratégica de las piezas que daban gran seguridad a estos.

Sin embargo en nuestros tiempos, no se lograba dar una solución viable al problema u obstáculo que representaban los grandes cuerpos de agua.

Es por eso que ante esa necesidad comenzaron a surgir en diversos lugares del mundo puentes por doquier, que solucionaron los problemas de comunicación entre dos lugares separados por un río o lago; y aunque en un principio estos puentes fueron diseñados solo para el paso peatonal, fué el principio de la gran tecnología en que estos se convirtieron.

El nacimiento de los primeros puentes vehiculares, marco el inicio de una serie de estudios técnicos que permitieran la construcción de estos puentes cuya seguridad fuera cada vez mayor, además de que solucionaran los problemas que enmarcaban grandes concentraciones de agua, así como grandes vacíos, por lo que surgieron los grandes claros que en la actualidad hemos todos alguna vez visto y utilizado.

Por esta razón fué necesario trabajar muy fuerte en el ámbito de investigaciones, pruebas y estudios del aspecto estructural de los puentes. Como son la manera en que estructuralmente estos trabajan, los fenómenos que los afectan etc. Sin embargo, existió aquí otro obstáculo, sin una buena computadora y mejor dicho un buen programa de cálculo todas las investigaciones se vieron frenadas, por lo que muchas partes del análisis quedaron en el aire cuando menos temporalmente, y los cálculos para la construcción de los puentes se llevaban mucho tiempo.

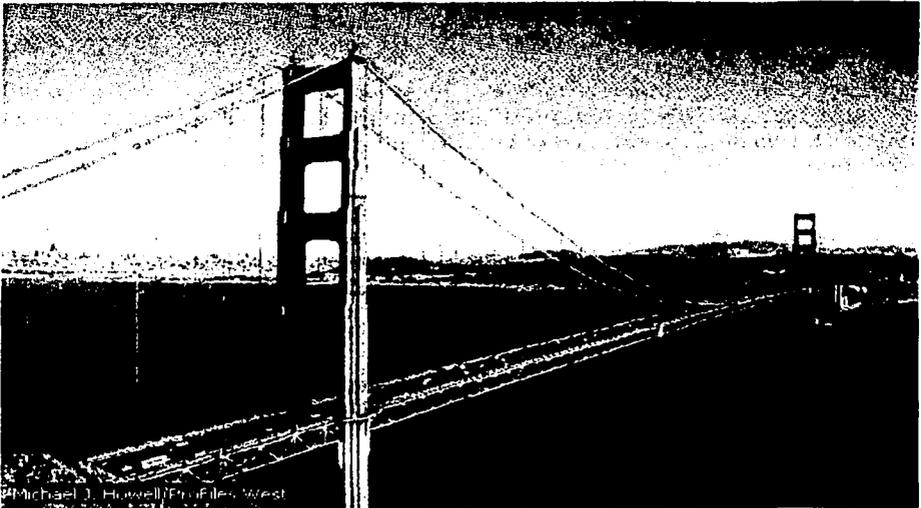
### **1.3.1 RAZÓN Y SER DE LOS PUENTES COMO ELEMENTOS ESTRUCTURALES.**

Todos conocemos el Golden Gate Bridge, que con sus 1280 metros de claro entre ejes de pilas, es el mayor claro logrado de un puente hasta la fecha. Debemos saber que el puente colgante es el que permite la máxima ligereza y el mínimo peso muerto, que finalmente es lo que interesa cuando se trata de claros tan grandes.

La creación de puentes de grandes claros significa, una superación de obstáculos de gran magnitud, que para el técnico constructor de puentes, no solo es necesario un gran conocimiento técnico y una gran capacidad, si no que también requiere de intuición y audacia creadora, ya que ello significa un gran triunfo sobre la naturaleza y un gran progreso en la batalla contra la insuficiencia humana.

El puente colgante como el Golden Gate podemos definirlo como el arco invertido, formado por un cable de alambres de alta calidad, cuyo coeficiente económico-resistente es mayor que el de los aceros de construcción; y en esto radica una de las ventajas que tienen los puentes de este tipo.

Los puentes como tipos estructurales, podemos decir que son toda una genialidad, son tipos estructurales de grandes dimensiones, cuyo cálculo debe de estar sometido a toda una serie de fuerzas que provocan todo tipo de reacciones en la estructura, y por lo tanto el trabajo del ingeniero es hacer que todas esas fuerzas trabajen en equilibrio, y que a pesar de cualquier circunstancia inesperada provocada por la naturaleza, este equilibrio no se pierda por ningún motivo.



Golden Gate - San Francisco. Cal.

Por lo tanto, partiendo del aspecto estructural, es muy interesante seguir la evolución que van sufriendo los puentes a medida que van disminuyendo las dimensiones de la obra, en especial el claro; porque contrariamente a lo que podría pensarse, en el puente, el tipo estructural cambia totalmente no solo con el material, sino principalmente con el claro y con la altura de la rasante sobre el fondo del valle y con las condiciones del terreno de cimentación, ligado todo esto a la presencia del agua bajo el puente (si así fuera el caso).

Como cada circunstancia, cada característica, cada condición del lugar donde valla a construirse el puente demandará netamente sus ventajas e inconvenientes específicos, entonces por lo tanto, cada valle, cada río, o bien cada camino, deberá tener el puente que le venga como anillo al dedo, y será trabajo del **Ingeniero Especialista en Puentes**, escoger y ajustar la mejor alternativa.

Desde el punto de vista estructural, los puentes tienen una particularidad, que se puede tomar en cuenta, aunque pareciese lógico, a medida que el claro disminuye, y por lo tanto disminuyen también las secciones y los pesos muertos de los diferentes elementos. La sobrecarga viva va aumentando su importancia relativa, y por consiguiente el fenómeno resistente de flexión, que corresponde a la viga de rigidez, va dominando sobre el arco; la esbeltez de la viga no puede mantenerse, provocando que la estructura comience a fallar.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 1.3.2 RAZÓN Y SER DE LOS PUENTES EN MÉXICO.

Para México, la construcción de los puentes carreteros se ha convertido en una necesidad, ya que desde hace años, el transporte terrestre ha sido el principal medio de transporte en el interior del país, y poco a poco, el transporte carretero ha superado al ferroviario, por lo que la construcción de caminos se ha convertido en una prioridad para el país.

El gobierno mexicano a través de la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas, que actualmente es la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (S.C.T), comenzó la construcción de una infraestructura necesaria para consolidar el dominio de la nación sobre su territorio y sus recursos.

Una vez que México había logrado su independencia de los españoles, y que se había pasado ese periodo de 50 años, aproximadamente, en los cuales quedó detenida la construcción de infraestructura debido a nuestras luchas internas y las constantes invasiones extranjeras, se comenzaron a destinar recursos para la conservación y construcción de caminos; el primer presidente que le dio seguimiento fue Benito Juárez, por lo que se crea en 1867 la carrera de **Ingeniería Civil** dentro de la escuela de Minería, heredera del Real Seminario de Minas.

Los primeros puentes que se construyeron posteriormente a los problemas sociales que el país tuvo, se construyeron como tradicionalmente lo hacían los españoles, arcos de cantera.

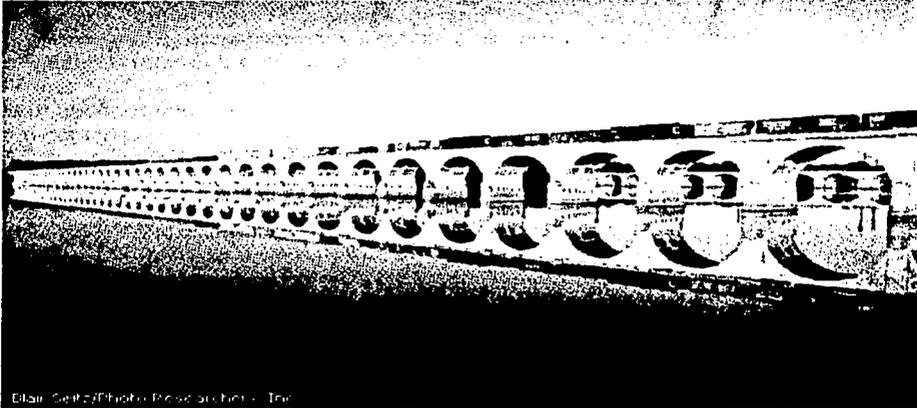
En los primeros años, debido a que México carecía de una propia tecnología, los primeros puentes modernos que se construyeron, fueron concesionados a empresas extranjeras, principalmente europeas, quienes construyeron muchos de los puentes para ferrocarril.

Al desarrollarse la tecnología del concreto reforzado, empezaron a construirse superestructuras completas. En un principio únicamente losas planas de 10m de claro máximo, y posteriormente, losas sobre varias nervaduras hasta de 15m de claro, en caso de toparse con claros mayores a este, se prefería utilizar el acero para la construcción de puentes.

Sin embargo, con el paso del tiempo, los Ingenieros mexicanos se fueron dando cuenta de que la construcción de estructuras de concreto era mucho más económica que las de acero, ya que este se fabricaba a pie de obra y con elementos propios del lugar.

Sin embargo era necesario hacer estudios de concreto debido a que se requería mejorar este material, para alcanzar mayores resistencias. Por otro lado las siderurgias tuvieron que hacer el mismo trabajo de investigación, con la finalidad de obtener aceros de altas resistencias.

Conforme los estudios fueron avanzando, la tecnología también avanzó a grandes pasos, de manera que la idea de utilizar el concreto presforzado es muy antigua, pero no pudo materializarse en las obras de Ingeniería Civil, mientras no se desarrollaran los concretos y aceros de alta resistencia, que nos permiten la aplicación de grandes fuerzas externas por un lado, y por otro, reducen las pérdidas que estas fuerzas experimentan, como consecuencia de las deformaciones.



Elain Seitz/Photo Researcher - Inc

**PUENTE EN ARCO DE MAMPOSTERÍA**

#### **1.4 IMPORTANCIA DE LOS PUENTES.**

La importancia de los PUENTES radica en la importancia que tienen los caminos como medios de comunicación, y los puentes son base, ya que son lo que le dan continuidad a los caminos, librando los obstáculos que se presenten.

Estas estructuras constituyen obras fundamentales de las vías de comunicación, y su buen funcionamiento dependerá del uso, diseño y mantenimiento que se le dé a este. Si un puente se comporta de manera inadecuada, o llega a fallar, el tránsito sufrirá interrupciones que pueden ocasionar pérdidas económicas de cientos o miles de millones de pesos, sobre todo en las modernas autopistas y vías férreas, ya que resultarían inoperantes para mover los grandes volúmenes de carga nacional e internacional si se demora la entrega del producto transportado.

Por lo anterior podemos darnos cuenta de la real importancia que tienen estas estructuras, y de la responsabilidad que tienen los Ingenieros Especialistas en Puentes, encargados del estudio, proyecto, construcción y conservación para que la obra cumpla con los requerimientos de operación de la vía terrestre.

TESIS CON  
FALTA DE ORIGEN

Por eso es que los estudios previos constituyen una parte fundamental para el buen comportamiento del puente, y su correcta realización dependerá del éxito del proyecto, evitando imprevistos en la construcción, lo cual redundará en una adecuada operación durante su vida útil.

Con el paso del tiempo, las universidades, principalmente la Universidad Nacional Autónoma de México se han preocupado por desarrollar programas, cursos, especialidades y maestrías que permitan conocer y desarrollar mejores técnicas para el desarrollo de proyectos.

En la actualidad un estudio de puentes, requiere como paso previo al proyecto, construcción y conservación; estudios geológicos, toponímicos, de cimentación y algunos de tipo especial. Antes de iniciarlos es necesario definir el sitio de cruce atendiendo diversos aspectos, entre los que se pueden mencionar los relativos al proyecto geométrico de la ruta, que toma en cuenta las características fijadas en el estudio de planeación, la importancia del puente y las condiciones geotécnicas del subsuelo, topográficas e hidráulicas.

De ahí la importancia de los recorridos preliminares para programar los estudios. Estos recorridos deben hacerlos especialistas de Mecánica de Suelos e Hidráulica, si es posible acompañados de un Ingeniero Geólogo, lo que permite decidir los trabajos que deberán ejecutarse y prever los problemas que se tendrán en la construcción. Si el caso lo manda, podrá modificarse el sitio de cruce y se solicitará la opinión de especialistas en proyecto y construcción.

La ingeniería de puentes es un trabajo tan especial que no es labor de un solo ingeniero, sobre todo cuando hablamos de grandes claros, donde los estudios que se hacen son exhaustivos, con la finalidad de que se tomen en cuenta todos los aspectos y que no se escape ningún detalle que pueda ser importante al hora de hacer el trabajo de diseño y cálculo.

Para los ingenieros mexicanos fue muy difícil en un principio, ya que no se contaba ni con la tecnología ni con la experiencia, como para poder hacer su propia tecnología en puentes, por lo que tuvieron que aprender por un lado a las empresas extranjeras que comenzaron a hacer los trabajos aquí, y por otro a base de modelos a escala que muchas veces eran arrastrados por las crecientes; todo esto con la finalidad de observar el comportamiento de las estructuras: así, de esta manera, poco a poco fueron realizando una tecnología nacional, fundamentada en un principio en la experiencia.

El éxito en la vida consiste en  
siempre seguir adelante.

**Samuel Johnson.**

# III) ANTECEDENTES.



## II) ANTECEDENTES.

### 2.1 LOS PRIMEROS PUENTES EN EL MUNDO.

Desde los tiempos mas remotos, se encuentran en los pueblos primitivos, **puentes rústicos**, ya sean de madera o de lianas formando vigas simples, atirantadas o colgantes. Desde épocas tempranas, algunas civilizaciones ya construían puentes artísticos; por ejemplo, los chinos tendían vigas de granito con claros de poco mas de 18m, carpinteros alemanes y suizos construyeron en el siglo XVIII puentes de madera a un elevado grado de perfección, y se tienen datos de puentes de madera de hasta 18m de claro.

Los chinos y los romanos en épocas antes de cristo, construían bóvedas de piedra. Entre los romanos por ejemplo constituían un arte los arcos semicirculares de hasta 30m de claro, ya que el trabajo de los materiales se hacía con toda delicadeza, que llegó a un alto grado de florecimiento. Como ejemplo podemos citar al puente de los "Ángeles de Adriano" sobre el Río Tíber en Roma, el cual es un puente basado en arcos, de gran colorido y vista, por lo que son considerados autenticas obras de arte.



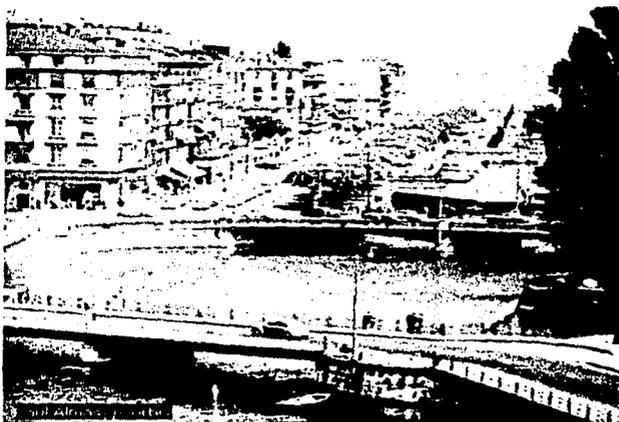
Puente de "Los Ángeles de Adriano" en el Tíber (Roma)

Los mismos romanos construyeron el puente "Ponte Piedra" en Verona, que es un puente de características similares al del Tíber.

Por otro lado los turcos también comenzaron desde edades muy tempranas a construir puentes de piedra de grandes claros, sin embargo mantuvieron una forma general de arco ojivado.

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

En la edad media, las bóvedas comenzaron a ser más grandes, claros de hasta 50m, por mencionar algunos tenemos el Escaligero (Verona 1354), Ponte Vecchio (Florencia), el puente sobre el Ródano (Ginebra), el puente sobre el Danubio (Regensburg), el Karlsbrucke (Praga).



Puente sobre el Río Ródano en Ginebra (Suiza)

Los puentes de hierro fundido, con forma de arco, surgieron a fines del siglo XVIII. Ya en el año de 1750 los chinos construían los primeros puentes de cadenas. Sin embargo con la llegada del ferrocarril se hicieron necesarios los puentes para cargas pesadas. Se empezaron a construir pesados puentes de piedra que salvaban valles completos.

En poco tiempo se comenzaron a utilizar nuevos materiales como el hierro forjado y el acero. En 1846, el Ing. Robert Stephenson, hijo del inventor de la locomotora, erigió el puente Britannia, siendo este el primer gran puente de vigas (cajones huecos de hierro forjado) con 141m de claro central sobre el estrecho de Menai en Gales, Inglaterra.

Poco después se construyeron grandes puentes con vigas de enrejado de acero como, por ejemplo en 1850 el puente sobre el Vístula en Dirschau, con seis tramos de 124m de claro cada uno. También empezaron a surgir puentes colgantes y de armaduras en reticulado. Gigantescos claros fueron cubiertos por puentes voladizo, como por ejemplo el puente ferroviario sobre el Firth of Forth en Escocia con claros de 512m (1883 a 1890).

Ya en 1900 se encontró un nuevo material, el concreto, y por lo tanto se comenzó una nueva época en la tecnología de construcción de puentes. En un principio se ejecutaron arcos de tres articulaciones, y por tanto el concreto solo remplazó al material "piedra".

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

El concreto armado se empleo en un principio para losas de tablero, luego para nervaduras de arcos, etc. A partir de 1912 comenzó a emplearse para la construcción de puentes de vigas y de pórticos, sin embargo, solo para claros de aproximadamente 30m. Simultáneamente los puentes en arco de concreto armado alcanzaban dimensiones cada vez mayores. Entre 1941 y 1945 se construyó en Suecia el puente Sandó con un arco de 280m de claro

Los puentes de concreto pretensado surgieron a partir de aproximadamente 1938. poco después de 1948 el concreto pretensado conquistó la construcción de puentes donde, de preferencia, se utilizaron vigas de hasta 230m de claro. Con cables inclinados, en 1977 ya se alcanzaron claros de hasta 300m, como el puente Pasco-Kennewick sobre el río Columbia, proyecto del Ing. Leonhardt; ó el puente Brotonne sobre el río Sena, proyecto del Ing. Jean Muller.

## **2.2 PRIMEROS PUENTES EN MÉXICO.**

### **2.2.1 ÉPOCA VIRREINAL.**

El origen de los puentes en México data desde la época de la conquista, desde la llegada de los españoles al nuevo mundo. Los conquistadores se toparon con un sin número de problemas para dominar las tierras, lo cual los obligó a utilizar toda su fuerza, su capacidad y sobre todo su ingenio en empresas insólitas.

Los primeros puentes que construyeron los españoles por la necesidad de avanzar en sus conquistas, fueron de madera rolliza, los cuales tuvieron corta duración, pues fueron destruidos por las crecientes y la pudrición natural de la madera. Sin embargo, existen hasta nuestros días, puentes de la época colonial construidos con el sistema de arco romano y con canteras.

Debido a que los españoles estaban muy influenciados por la tecnología romana, trasladaron al nuevo continente la técnica del arco, que se mantuvo durante todo el virreinato. Arcos que se utilizaron para la construcción de puentes y acueductos.

Uno de los puentes más notables de los que se señala, es el de "La Venta", en Querétaro, construido por el Arq. Don Pedro de Arrieta, en febrero de 1710, puente que en la actualidad se encuentra en servicio, ya que es el que da acceso a la ciudad de San Juan del Río.

Otro es el puente sobre el río "La Laja" en la entrada de la ciudad de Celaya, fue construido por el Arq. Tres Guerras, autor de numerosos templos y obras de arte a finales de la época virreinal. Este puente fue construido con la cooperación de los vecinos de Celaya, para comodidad y beneficio de los pasajeros y se encuentra en servicio desde 1809 y hasta en la actualidad. Desgraciadamente esta obra se esta destruyendo por el poco cuidado que se le tiene, y por el paso de vehículos extraordinariamente pesados.

### 2.2.2 ÉPOCA INDEPENDIENTE.

En la época del México independiente, y una vez terminadas las guerras civiles e invasiones extranjeras, se comenzaron a construir nuevamente los puentes, y siguiendo la tradición de los españoles se hicieron a base de cantera. Uno de esos puentes fue el de Lagos de Moreno, famoso por sus anécdotas festivas. Se terminó de construir en 1857 y está formado por cuatro arcos de 16m de claro y 5m de flecha. Se cuenta que anteriormente se había mandado construir un puente metálico traído de Europa que había costado muy caro, por tal motivo se cobraba una cuota por pasar por el puente, y como la gente no tenía dinero prefería seguir pasando por abajo, posteriormente una creciente se llevó el puente. Cuando se construyó el nuevo puente, ya no se cobraba, sin embargo la gente seguía pasando por abajo para evitarse el cobro, por tal motivo, el alcalde de Lagos de Moreno, mandó colocar un letrero que decía: "Este puente se hizo en Lagos y se pasa por arriba".

### 2.2.3 PRIMEROS PUENTES MODERNOS.

Los primeros puentes modernos que empezaron a construirse en nuestro país, fueron los de ferrocarril. Por primera vez en la construcción de un puente se preocupó por aplicar la tecnología de resistencia de materiales y del cálculo estructural para optimizar las construcciones, es decir, por primera vez se utiliza la Ingeniería.

En vista de la falta de datos geográficos y un poquito de falta de experiencia, los ingenieros de la época adoptaron, en muchas ocasiones, un método de diseño por tanteos a escala natural. Construían puentes de madera de manera provisional, los cuales corrían un alto riesgo de ser arrastrados por la creciente de una corriente, pero que sin embargo, al fallar, proporcionaban lecciones a los ingenieros, que podían utilizar para sacar conclusiones que orientaban los proyectos de reconstrucción. Cabe destacar que algunos de esos puentes provisionales siguen en funcionamiento hoy en día después de 80 ó 100 años de servicio.

Aparte de la madera el material que más se utilizó en la construcción de puentes ferroviarios fue el acero, que a finales del siglo XIX había sido recientemente descubierto. El acero se utilizaba para formar estructuras tipo armaduras, o tipo viaducto, en donde los elementos estructurales trabajaban fundamentalmente a esfuerzos directos de tensión o compresión, y solo ocasionalmente alguno a flexión.

Probablemente el más famoso de los puentes ferroviarios del siglo XIX es el de la Barranca de Metlac, que causó el asombro de la población contemporánea, y que además quedó plasmado en uno de los cuadros de Don José Ma. Velasco. Este puente se ubica en curva horizontal y fue resuelto con tramos rectos de superestructura, orientados en forma poligonal y apoyados sobre torres de acero muy altas.

Tuvo que pasar algo de tiempo para que se comenzaran a construir los puentes carreteros en México, esto se explica debido al retraso que tienen los vehículos automotores con el ferrocarril en todo el mundo: no fue si no hasta finales del siglo XIX y principios del XX que se construyen los primeros puentes carreteros.

Cuando se comenzó la construcción de los primeros puentes carreteros, fueron, como su nombre lo indican, exclusivamente para carretas. Por ejemplo el puente colgante sobre el río Grijalva, cerca de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, se erigió para sustituir un cruce peligroso de embarcaciones. Los cables fueron traídos de los Estados Unidos, y el piso era de madera capaz de resistir carretas de bueyes.

Otro puente de esa época que aún se conserva es el de "Tasquillo", en el estado de Hidalgo. Este puente esta formado por arcos de fierro fundido, el sistema de piso también son arcos en direcciones longitudinal y transversal, la estructura había sido importada de Bélgica.

Con la difusión de los vehiculos automotores, el gobierno se vio obligado a construir nuevas carreteras y puentes necesarios para el transporte. Sin embargo, en un principio, debido a las carencias de tecnología nacional, se recurrió a las empresas norteamericanas para la construcción de las primeras carreteras (México-Cuernavaca, México-Puebla y México-Toluca). Estos contratos incluían todos los estudios preliminares y proyectos. Los ingenieros mexicanos empezaron a trabajar como auxiliares de estas empresas, y realizaron grandes esfuerzos para asimilar y adaptar la tecnología que esas compañías no estaban siempre dispuestas a transferir. Gracias a esos esfuerzos, al paso de pocos años, los ingenieros nacionales pudieron hacerse cargo de la dirección de los proyectos y las construcciones.

Los primeros puentes hechos por ingenieros mexicanos, como por ejemplo el de la carretera México-Acapulco, eran construidos de la manera tradicional de arco de cantera, sin embargo, se dieron cuenta de que los claros logrados con este método eran muy limitados, por lo que comenzó a utilizarse el acero con mayor frecuencia, al grado que en ocasiones se demolieron puentes de cantera para montar sobre estribos y pilas estructuras metálicas con un alineamiento vertical más adecuado para el tránsito carretero.

Para los puentes de claros mayores, el método mas utilizado fue el de armadura de paso a través ó superior, cuando la altura sobre el cauce lo permitía. Este tipo de soluciones reflejaban lo que era la tecnología norteamericana, y de hecho, en algunas ocasiones estas estructuras se importaban de los Estados Unidos.

Un puente que cabe destacar por el diseño y el uso de la ingeniería en esta época es el "Puente Tasquillo", en la carretera México-Laredo, que fue necesario construir al rectificarse el trazo y al abandonar por consiguiente, el puente anteriormente mencionado. Este puente es un arco de tres articulaciones, y para construirlo fue necesario el desarrollo de una maqueta.

### 2.3 DESARROLLO DE LA TECNOLOGÍA DE LOS PUENTES CARRETEROS.

Al desarrollarse la tecnología del concreto reforzado, empezaron a construirse superestructuras completas con este material, y fue lo que marco el inicio de la construcción de puentes de concreto reforzado de grandes claros; sobre todo cuando se dio cuenta de que este material era mucho más económico que el acero.

El primer puente de concreto presforzado del continente americano y por supuesto de México es el de "Santa Catarina" en Monterrey, fue construido en 1953 bajo la dirección exclusiva de ingenieros mexicanos, que idearon un sistema original para anclar los cables de presfuerzo y comprobaron la validez de sus cálculos con la realización de una prueba de carga sobre una viga de escala natural.

En 1957 se construyó el puente sobre el río Tuxpan, en el acceso del puerto del mismo nombre, en el estado de Veracruz. Esto constituyó otro descubrimiento de la ingeniería mexicana, ya que es el primer puente en el continente en que se aplicó el sistema d dovelas en doble voladizo. El puente tiene claros de 92m y es de tipo Gerber, con articulaciones metálicas al centro de los claros. El concreto sé presforzó con barras de acero redondo. Esta obra presentó muchos problemas debido a la inexperiencia, pero al final el resultado fue mas que satisfactorio.

El incremento de la industria del presfuerzo y la prefabricación, permitió el empleo cada vez mas frecuentes de vigas presforzadas y prefabricadas en los puentes. La ventaja de estos elementos es que evitan la obra falsa y reduce los tiempos de construcción.

Uno de los puentes más importantes en los que por primera vez se aplica en forma intensiva el uso de vigas prefabricadas y presforzadas, es el que cruza el río Coatzacoalcos y que permite el paso de la carretera Costera del Golfo y del ferrocarril. Durante varios años este puente con longitud aproximada de un kilómetro fue el mas largo de México.

Posteriormente, el avance en el acero se tuvo al introducir en sus estructuras un presfuerzo exterior, lo cual permite optimizar la sección transversal, ya que reduce el peso propio de la superestructura.

En nuestro país sobresalen dentro de las estructuras de acero, los puentes: Fernando Espinosa y Mariano García Sela, que fueron los primeros en que se diseño en México un sistema de piso con placa ortotrópica. Este tipo de estructuras permite una gran reducción del peso propio, ya que la placa de la calzada, además de recibir las cargas vivas, trabaja como patín superior de las costillas, las piezas de puente y las traves maestras. En estos puentes, las conexiones fueron remachadas en las traves maestras construidas por segmentos en voladizo y soldadas en el sistema de piso ortotrópico.

## 2.4 AVANCES EN LA TECNOLOGÍA DE PUENTES EN LOS ÚLTIMOS AÑOS.

Pese a la crisis económica sufrida en nuestro país en la década de los 80's, la construcción de puentes no se detuvo en ningún momento, lo que permitió el avance de la tecnología de puentes, aunque debe de reconocerse que el número de obras fue inferior al que demandaba el país, esto debido de igual manera a la crisis reflejada en el monto de la inversión pública.

Durante este periodo, se realizaron en algunos estados, la construcción de puentes, mediante programas de ejecución de conjuntos, construyéndose puentes con proyectos estandarizados e industrializados, en los que se aplican al máximo las soluciones prefabricadas y se optimizan los programas de ejecución para reducir al mínimo los tiempos.

Uno de los estados que se vio favorecido con este tipo de programas, fue el estado de Tabasco, donde con un programa estatal apoyado por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (S.C.T.) se construyeron en tan solo cuatro años doce puentes con una longitud total de 5,900 m y que permitieron la integración de ese estado por mucho tiempo dividido por las corrientes fluviales mas caudalosas de la República.

En esa década los puentes en México, causaron daños importantes debido a una conservación rezagada por la crisis, y al incremento del peso de las cargas y volúmenes de tránsito. Comenzaron a darse en diversos lugares, colapsos de estructuras por efecto de la carga viva. Estos accidentes y los malos niveles de servicio motivaron la creación (por primera vez en nuestro país), de programas de conservación y modernización de estructuras para puentes. El reforzamiento de los puentes sobre los ríos Yaqui y Mayo, y la ampliación del puente Belisario Domínguez, son ejemplos notables de la realización de este programa.

Poco a poco, la construcción de carreteras de altas especificaciones, a impuesto la necesidad de construir en ellas, puentes de grandes dimensiones con estructuras capaces de soportar con seguridad, altas demandas de tránsito durante largos periodos de vida. El alto costo financiero obliga, además, a construir estas grandes obras en tiempos muy cortos. Lo que resalta de todo esto es que, para cumplir con todos estos objetivos, la ingeniería mexicana a debido aplicar y adaptar en un tiempo muy breve, las técnicas de construcción de puentes mas avanzadas que existen en el mundo actual.

La construcción de puentes mediante el sistema de dovelas en doble voladizo, fue una técnica que dio muy buenos resultados para la ingeniería mexicana; entre las obras mas destacadas construidas con este sistema están, el puente ferroviario de Metlac, en la vía férrea México-Veracruz, este puente tiene una longitud total de 430 m y claro central máximo de 90 m. tiene pilas de hasta 130 m de altura, y se construyo con aceros de alta resistencia de 400kg/cm<sup>2</sup>. Los puentes de la Barranca de Beltrán y el viaducto Pialla, son estructuras que de igual manera se construyeron mediante el mismo sistema de puentes Javier Barros Sierra, estos se ubican en la autopista entre Guadalajara y Colima.

La vía férrea México-Querétaro incluye dos estructuras de características notables. estas son el viaducto Tula y el puente Tula. El viaducto tiene una longitud en su primera parte de 616 m y, en la segunda de 839 m. Ambas partes están formadas por tramos libremente apoyados, de aproximadamente 30 m de claro con vigas prefabricadas presforzadas. El puente por su parte, fue construido mediante el sistema de "puente empujado", en el cual la superestructura se construye por segmentos en un patio de fabricación localizado en uno de los accesos. Posteriormente estos segmentos se van empujando con gatos hidráulicos en forma paulatina hasta cubrir la totalidad de los claros.

Con este mismo procedimiento de "puente empujado" se construyó la superestructura del puente "La Marquesa" de la autopista México-Toluca, estructura de dos cuerpos en que el sistema de construcción resultó muy interesante, ya que la obra se ubica en una curva horizontal.

Conforme al paso del tiempo, podemos decir que la tecnología de construcción de puentes en nuestro país, ha avanzado a pasos agigantados, y ha tratado, además, de seguir una tendencia a nivel mundial en cuanto a las formas, técnicas y últimamente hasta en la estética de los puentes.

De la misma manera en que se ha hecho en otras partes del mundo, los puentes de mayor claro de nuestro país se han construido con el sistema de "puente atirantado". El primero de ellos fue el puente "Ing. Antonio Dovalí Jaime, de la carretera Costera del Golfo, con una longitud total de 1,170 m y un tramo principal de 698 m, atirantado, compuesto de siete claros, siendo la longitud mayor de 288 m. El tablero, de concreto reforzado se construyó con el sistema de doble voladizo, sosteniendo las dovelas con tirantes que pasan por el mástil del pílón, el cual alcanza una altura total de 99 m.

Otro ejemplo notable de este tipo de puentes, es el puente "Tampico", también de la carretera Costera del Golfo, sobre el río Pánuco, fue construido por el mismo sistema y representa un logro notable de la ingeniería mexicana.

El claro máximo de este puente es de 360 m, y la porción central es un cajón metálico ortotrópico con una longitud de 293.5 m.

Por la excelencia de su proyecto y construcción, este puente fue seleccionado entre otras 36 grandes obras de Ingeniería Civil desarrolladas en los países iberoamericanos y en España y Portugal para recibir en 1990, el primer premio "Puente de Alcántara".



Puente Tampico, Tamaulipas México

El nombre de este premio, se refiere al puente por excelencia que desde hace 1900 años se levanta majestuoso sobre el río Tajo. Es una construcción romana que los árabes denominaron Alcántara, palabra que en su lengua significa "el puente".

El puente "Tampico" recibió también, de la Asociación de Cemento Pórtland, una distinción como una de las mas notables obras de concreto realizadas en los tres países de la América del Norte: Canadá, Estados Unidos y México.

Otro de los puentes atirantados construidos con estas características, y que además es el puente atirantado de mayor claro en México, es el puente "Solidaridad", construido en la autopista México-Acapulco, mejor conocida como la autopista del Sol. Este es uno de los puentes mas recientes y de grandes magnitudes en nuestro país.

## 2.5 CLASIFICACIÓN DE LOS PUENTES.

La utilización de puentes se ha convertido en una gran necesidad de comunicación, ya sea para autopistas que acorten distancias y por lo tanto tiempos entre ciudades, o bien dentro de las mismas ciudades, sobre todo las ciudades grandes, en la que la construcción de puentes para pasos a desnivel, se ha asentado sobre todo en los últimos años, debido principalmente al enorme crecimiento de estas.

La clasificación de los puentes depende de varios factores, o bien podríamos decir que hay ramas principales; estos se clasifican por:

- Por la carga que va a soportar el puente.
- De acuerdo a su trazo horizontal.
- De acuerdo a su trazo vertical.
- Por el material empleado, para su construcción.
- Por la movilidad o inmovilidad de la superestructura.

1.- **Por la carga que soporta el puente** estos se clasifican en:

**CARRETEROS:** Son los puentes que están diseñados exclusivamente para soportar carga de vehículos de todos tipos, desde los automóviles mas compactos, hasta los grandes camiones de carga.

**FERROVIARIOS:** Son los puentes que están diseñados exclusivamente para el paso del ferrocarril, estos puentes permiten que el ferrocarril recorra mayores distancias en tiempos mas cortos, ya que permiten trayectorias mas rectas entre los puntos de destino.

**CLASIFICACIÓN DE LOS PUENTES.**

|  |   |
|--|---|
| POR LA CARGA QUE SOPORTAN.                           | {<br>1. CARRETEROS<br>2. FERROVIARIOS<br>3. DUCTOS<br>4. PEATONALES   |
| POR SU TRAZO HORIZONTAL                              | {<br>1. NORMALES<br>2. ESVIAJADOS<br>3. EN CURVA (CIRCULAR ó ESPIRAL)   |
| POR SU TRAZO VERTICAL                                | {<br>1. TANGENTE (HORIZONTAL)<br>2. TANGENTE (INCLINADA)<br>3. EN CURVA VERTICAL {<br>- CRESTA<br>- COLUMPIO  |
| POR EL MATERIAL EMPLEADO EN LA CONSTRUCCIÓN.         | {<br>1. MADERA (ROLLIZA ó LABRADA)<br>2. MAMPOSTERIA<br>3. CONCRETO {<br>- REFORZADO<br>- CICLÓPEO<br>- PRESFORZADO<br>4. METÁL {<br>- PLACAS DE ACERO SOLDADO. |
| POR LA MOVILIDAD O INMOVILIDAD DE LA SUPERESTRUCTURA | {<br>1. FIJA<br>2. MÓVIL {<br>- LEVADIZA<br>- GIRATORIA<br>- BASCULANTE<br>- DESLIZANTE   |

**DUCTOS:** Estos son los famosos acueductos, que son puentes cuya función principal es permitir el paso de un conducto de agua, en muchas ocasiones se combinan y se calculan para el paso del conducto y además para el paso vehicular.

**PEATONALES:** Son los puentes que están diseñados y calculados exclusivamente para el paso de peatones.

2.- **De acuerdo a su trazo horizontal** (fig. 2.5.1), estos se clasifican en:

**NORMALES:** Son los puentes en los cuales, el flujo del cauce y el eje central del puente forman un ángulo de  $90^\circ$ , es decir el cruce entre estos es en ángulo recto.

**ESVIAJADOS:** Son los puentes en donde el flujo de la corriente, y el eje central del puente, tienen una pequeña desviación, y por lo tanto no forman un ángulo de  $90^\circ$  grados, a este ángulo se le llama esviamiento.

**CIRCULAR:** Son los puentes en los cuales, por la necesidad y las condiciones del lugar, caen dentro de una curva que lleva el camino. Estos puentes pueden ser de dos formas de acuerdo a la curva, si es perfectamente circular, o bien es una curva en espiral.

3.- **De acuerdo a su trazo vertical** (fig. 2.5.2), estos pueden ser:

De acuerdo al trazo vertical, los puentes se pueden dividir en cuatro tipos principales, y esto dependerá de la forma que tenga el puente desde el punto de vista tangencial.

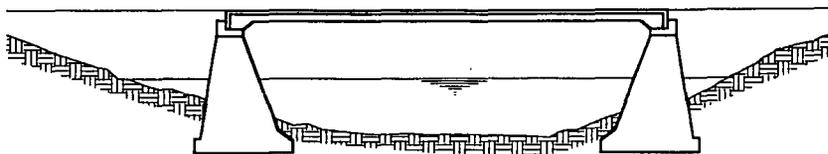
Los puentes bien pueden ser entonces **EN TANGENTE HORIZONTAL**, estos se utilizan principalmente, cuando los niveles en ambos puntos de apoyo del puente son iguales, es decir tienen la misma elevación, por lo tanto la superestructura estará colocada perfectamente horizontal.

Sin embargo, cuando por la forma del terreno esto no es posible, es decir cuando los niveles de apoyo del puente no se encuentran a la misma altura, entonces se dice que el puente estará **EN TANGENTE INCLINADA**, cuya inclinación dependerá de las condiciones del terreno.

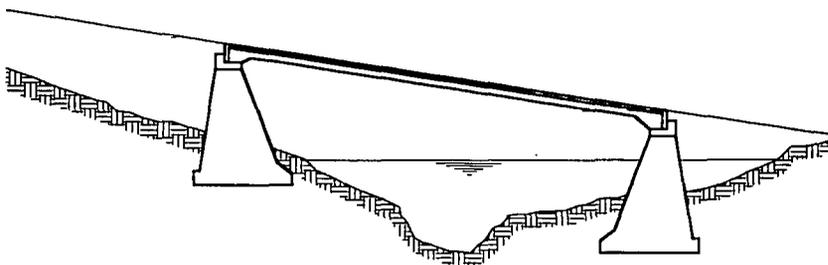
Dependiendo de la misma manera de la forma del terreno en donde se va a desplantar nuestro puente, existen otras variantes que forman parte del trazo vertical. Esto es cuando la superestructura tendrá una cierta concavidad, que puede ser superior, o bien invertida, por lo que existen entonces los puentes **EN CRESTA** y **EN COLUMPIO**, y cualquiera de las dos variantes que se utilicen. Serán de acuerdo a las necesidades y las condiciones que el terreno nos presente.

Para tener una mejor idea de este tipo de puentes de acuerdo a su trazo vertical, se esquematizan en la fig. 2.5.2, en donde se muestran perfectamente las características de cada uno.

## TRAZO VERTICAL



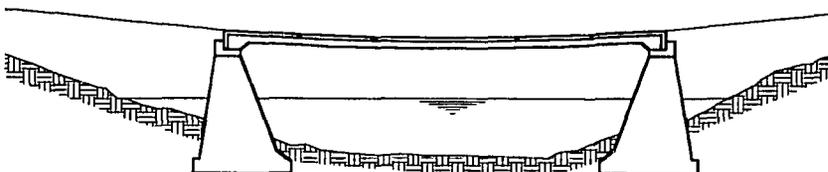
**PUENTE EN TANGENTE HORIZONTAL**



**PUENTE EN TANGENTE INCLINADA**



**PUENTE EN CRESTA**

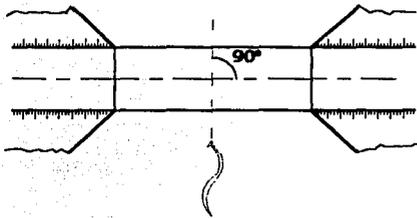


**PUENTE EN COLIMPIO**

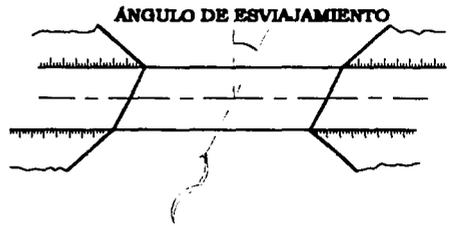
**Fig. 25.2**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

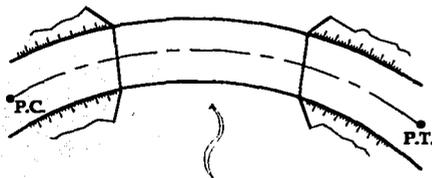
# TRAZO HORIZONTAL



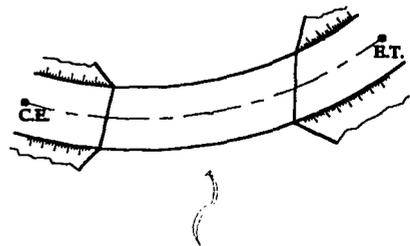
**PUENTE NORMAL**



**PUENTE ESVAJADO**



**PUENTE EN CURVA CIRCULAR**



**PUENTE EN CURVA ESPIRAL**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Fig. 2.5.1

## Capítulo 2

A pesar de la clasificación antes mencionada de los puentes, existen muchos tipos y variantes de estos, ya que en muchas ocasiones tienen que combinarse algunas técnicas, con la finalidad de tener el puente mas adecuado para cada situación.

En la tabla siguiente, se muestran, algunos tipos de puentes recomendados para diferentes tipos de claros, la cual es interesante, porque nos brinda recomendaciones tanto para claros pequeños, como para puentes de grandes claros, en muchos de los casos se mencionan los claros máximos utilizados para cada tipo.

| DESCRIPCIÓN   | CLARO  |
|---|--------|
| Puente a base de losa con flexión en un solo sentido.   | 6 m    |
| Puente de arco de mampostería, o bien de concreto reforzado.  | 10 m   |
| Puente de acero estructural, con losa de viguetas laminadas de una sola pieza.  | 12 m   |
| Puente a base de losa con nervaduras de concreto.   | 30 m   |
| Puente a base de viguetas laminadas con uniones remachadas o soldadas para unir los extremos de los diversos tramos a lo largo del claro. | 50 m   |
| Puente a base de viguetas maestras de acero.  | 150 m  |
| Puente a base de armaduras de acero. Este tipo requiere de un mantenimiento continuo y costoso, y es difícil de armar en el lugar.        | 200 m  |
| Puente a base de concreto presforzado.  | 260 m  |
| Puente atirantado. Consta de cables rectos, con pisos de concreto, o bien, de acero ortotrópico.  | 350 m  |
| Puente de armadura en arco. Este puente tiene el problema de los puentes de acero. Su costo a largo plazo es muy elevado.                 | 550 m  |
| Puentes colgantes. Es el tipo que nos brinda los mayores claros logrados.   | 1500 m |

TABLA 2.5.1

Sin embargo, hay otras muchas consideraciones que deben hacerse para poder hacer la mejor elección de alternativa que se nos presente en alguna situación en especial, y aunque la tabla 2.5.1 puede servirnos como apoyo para tener una idea de la alternativa que podemos elegir, existen muchos otros factores que deben de tomarse en cuenta para hacer la elección correcta. además de que se requiere tener los estudios topohidráulicos, de cimentación, de tránsito y de construcción para realizar una preelección, y desarrollar un anteproyecto.

Estudios Topohidráulicos:

- a) planta general del cruce en donde se puede observar las ventajas y desventajas del trazo.
- b) Planta detallada del cruce a mayor escala.
- c) Perfil de construcción.
- d) Secciones hidráulicas aguas arriba y aguas abajo así como en el cruce.
- e) Gasto hidráulico máximo, velocidad de llegada, elevaciones del NAMO y NAME.
- f) Perfil probable de socavación.
- g) Dimensiones de cuerpos flotantes.
- h) Influencia de puentes y presas cercanas, si existen.

Estudios de Cimentación:

- a) Perfil estratigráfico del cruce.
- b) Profundidad de las aguas freáticas.
- c) Perfil de socavación (general y local).
- d) Alternativas de cimentación de acuerdo a la capacidad de carga y asentamientos del terreno.
- e) Taludes en excavaciones.
- f) Recomendaciones de construcción.

Estudios de Tránsito:

- a) El ancho de la carretera irá de acuerdo al aforo vehicular y a la importancia del camino.
- b) La velocidad considerada será en función del tipo de camino.
- c) Definir el peso máximo permisible en diferentes tipos de caminos.

Estudios de Construcción:

- a) Caminos de acceso a la obra.
- b) Localización de bancos de arena y grava, cuando exista esta posibilidad.
- c) Disponibilidad de agua.
- d) Fuente de abastecimiento de materiales y costo.
- e) Mano de obra y sueldos en la región.

# III) OBTENSIÓN DE LA INFORMACIÓN PRELIMINAR.

TESIS CON  
FALTA DE ORIGEN

Saber no es suficiente,  
debemos aplicar. Desear no es  
suficiente, debemos hacer.

Johann W. Von Goethe.

127  
13

### III) OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN PRELIMINAR.

#### 3.1 OBTENCIÓN DE LA MAYOR INFORMACIÓN POSIBLE DEL LUGAR.

##### 3.1.1 IMPORTANCIA DE LA OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN PRELIMINAR.

El porque es importante obtener toda la información posible del lugar en donde se piensa construir un puente, se debe a que no siempre los datos que nos pueden proporcionar tanto las cartas topográficas como las geológicas, nos satisfacen para la elaboración de un buen anteproyecto.

Es importante tener todos los datos posibles de las condiciones del lugar, hacer consideraciones preliminares, y verificar en primera instancia todo lo que puede implicar la construcción de cierta infraestructura en ese sitio, así como el impacto ambiental que esta genere.

Los estudios preliminares, que son directamente los que nos proporcionarán la información preliminar ó de primera instancia constituyen la base para el buen desarrollo de un anteproyecto de puentes, y en lo sucesivo el proyecto dependerá de su precisión y exactitud. Nos permitirán hacer una predicción de los problemas que se puedan presentar durante su construcción, los cuales serían eliminados o descartados al tomarlos en cuenta y mantenerlos en los archivos, con la finalidad de tener una apropiada operación durante su vida de servicio.

Hay ocasiones, por ejemplo, en que ya existe, en nuestro caso, algún puente cercano, el cual nos puede servir de parámetro para la construcción de nuestro nuevo puente.



TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

Por otro lado, hay que tomar en cuenta que las estructuras de un puente constituyen obras fundamentales de las vías de comunicación, de cuyo buen funcionamiento depende el propio de la ruta. Si los puentes se comportan de manera inadecuada o llegan a fallar, el tránsito sufrirá interrupciones que pueden ocasionar pérdidas económicas de cientos de miles de millones de pesos, sobre todo, en las modernas autopistas y vías férreas, que resultarían inoperantes para mover los grandes volúmenes de carga nacional e internacional si se demora la entrega del producto transportado.

Por esta razón, cabe resaltar entonces, la importancia de las estructuras de un puente y el cuidado que deben de tener los ingenieros responsables de su estudio, proyecto, construcción y conservación, para que la obra cumpla con los requerimientos de operación de la vía terrestre. De ahí la importancia que tienen los estudios previos, los cuales constituyen las bases para el buen comportamiento del puente y de su correcta realización dependerá el éxito del proyecto, y se evitarán problemas imprevistos a la construcción, lo que redundará en una adecuada operación durante su vida útil.

Con esto, nos damos cuenta de la importancia real que tienen los conocimientos preliminares de la zona en donde se va a llevar a cabo la construcción del puente, ya que a partir de aquí se tomaran decisiones sobre la manera de llevar a cabo los estudios preliminares, cuales son lo que serán de mayor peso, y de cuales de estos se requiere el mayor cuidado y atención para que los resultados sean lo mas precisos posible.

### **3.1.2 BÚSQUEDA DE LA INFORMACIÓN.**

Para el inicio de la búsqueda o recopilación de la mayor información posible del sitio que nos interesa estudiar, se requiere del seguimiento de una serie de pasos, y de la cooperación de todas las partes involucradas dentro del proyecto en estudio.

Una vez que se tiene bien identificado el problema, se comienza con la recopilación de datos de gabinete, es decir, toda la información que podamos obtener antes de asistir al sitio en estudio.

Primeramente se debe tener la identificación del cruce, la cual puede ser ubicada en mapas de la zona, o bien en una carta topográfica. Esta nos puede ser proporcionada por la S.C.T. que es el organismo encargado del proyecto de los caminos.

Una vez que se tiene el cruce bien identificado, podemos verificar algunos datos, o bien darnos una idea de la topografía de la zona, de la situación que tiene el sitio con respecto a las poblaciones cercanas

Además, podemos tener datos que nos pueden ser proporcionados, como lo son los datos arrojados por las estaciones pluviográficas y pluviométricas que nos pueden arrojar las estaciones (en caso de que existan). Estos datos nos pueden ser de gran importancia para tener una idea general del cauce.

Como trabajo de gabinete, también podemos revisar el sitio tanto como aguas arriba como aguas abajo, la importancia de esto es verificar si existe alguna obra cercana que pueda tener las mismas características, ya que esto nos puede ayudar para el análisis de nuestro puente, sabiendo como se ha comportado el puente existente mas próximo, lo cual nos evitaria realizar trabajo extra, simplificando y acelerando nuestro proyecto.

El hecho de tener toda esta información de gabinete nos permitirá darnos una idea de las obras auxiliares que deban ejecutarse para la construcción del puente, como son las obras de seguridad, o bien si se requerirá de desviar el cauce, si existe la posibilidad de utilizar ademes etc.

### 3.2 LEVANTAMIENTOS EN EL CAMPO.

#### 3.2.1 IMPORTANCIA DE LOS LEVANTAMIENTOS EN EL SITIO.

Los levantamiento que se hagan ya en la visita al sitio donde se construirá el puente, son de gran relevancia, hablando de el levantamiento preliminar, ya que estos nos darán una idea general del campo en estudio, del tipo de terreno, del comportamiento del cauce y de los poblados mas cercanos al lugar del cruce.

Estos recorridos preliminares que se den en el sitio, nos servirán para programar los estudios. Estos recorridos, se hacen generalmente por especialistas en Mecánica de Suelos e Hidráulica, generalmente acompañados de un ingeniero geólogo, lo que nos permite decidir los trabajos que deberán ejecutarse y prever los problemas que se tendrán ya en el proceso de construcción.

En esta visita preliminar, todo lo que sea observado debe de ser registrado, ya que cualquier información puede ser de gran utilidad, ya que desde esta visita se puede dar una idea del tipo de suelo que se encuentra en el lugar.

Además de esto, podemos solicitar los estudios y análisis que se hayan hecho de la carretera en estudio en caso de que estos ya existan, ya que nos podemos apoyar en dichos estudios.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

En la mayoría de las veces, podemos tener ya el apoyo de los estudios que se hicieron ya para la carretera o camino para el cual se debe de construir el puente, esto nos es de gran utilidad para los objetivos que tenemos, ya que entre mas información podamos tener, será mejor para los resultados y funcionalidad de nuestro proyecto.

### 3.2.2 LEVANTAMIENTOS Y RECONOCIMIENTO DE LA RUTA.

Este levantamiento se realiza con la finalidad de localizar tanto la ruta del camino, identificar le cruce, así como verificar la calidad de los terraplenes y el nivel de estos.

En caso de caminos ya construidos, es importante conocer las condiciones, para tener una idea preliminar de los trabajos que deberán de realizarse para llevar a cabo la construcción del puente.

La localización del cruce, incluye un estudio para determinar la manera en que se deben de satisfacer ciertos requisitos comerciales con el menor gasto, que incluyen no solo el costo de construcción, si no también el costo de mantenimiento y de operación. Es por lo tanto un problema de aplicación del aspecto económico en la ingeniería. El procedimiento de la elección del cruce, se tocará mas a detalle dentro del capítulo IV de este documento.

Los detalles de los métodos de levantamientos empleados, varían naturalmente con el carácter del proyecto, pero son aplicables algunos métodos de campo generales. Los métodos de los que se describen se aplican tanto para la construcción de puentes carreteros como para la construcción de puentes ferroviarios.

Si se planea hacer una localización topográfica, generalmente se definen los puntos por donde se va a pasar, se definen los posibles claros, y por lo tanto se tiene la idea general del tipo de sondeos que se pueden realizar, y que serán necesarios, ya que mas adelante se deberá entregar un reporte que indique el procedimiento de los estudios de mecánica de suelos, y esto estará basado en este levantamiento preliminar.

Los levantamientos aéreos, y las calculadoras electrónicas, nos permiten utilizar otras alternativas dentro de los procedimientos de levantamientos terrestres. Los levantamientos aéreos nos proporcionan datos importantes sobre todo por el reconocimiento del comportamiento hidráulico del cauce, estos levantamientos generalmente van ligados a los levantamientos fotográficos, ya que no es otra cosa que las fotografías aéreas unidas para tener un panorama mas amplio de la zona.

En muchos de los casos, puede ser que estos levantamientos, o por lo menos algunos de ellos ya hayan sido realizados ya previamente cuando se hicieron los levantamientos para la carretera, pero de no ser así, el Ingeniero encargado del proyecto, podrá exigirlos si los considera necesarios.

**El reconocimiento**, comprende la exploración de campo en la zona donde se va realizar la construcción, generalmente no solo se estudia el sitio de construcción del puente, si no que se explora un área considerada en los alrededores, complementada por un estudio en los mapas y si se cuenta con un estudio fotográfico mucho mejor.

Es conveniente hacer un plano de la zona a escala pequeña, aproximado. Se dará atención especial a las corrientes. Se deben de elegir los puntos obligados de paso, como ciudades o poblados cercanos, cruces, y en nuestro caso el sitio de ubicación del puente. Constituye un factor importante que influye directamente tanto en la ubicación como en la selección del tipo de puente, el uso de los terrenos y los tipos de suelos que lo formen.

Los datos mas importante que deben de incluirse en el reconocimiento, son las pendientes gobernadoras del terreno y las pendientes máximas, la clasificación del material, drenaje, lugares en que cae nieve, carácter del desmonte, desarrollo de la región, servicios con los que cuentan las comunidades actuales, etc.

Dentro del informe, es importante que este incluya los niveles que trae el terraplén, en caso de que este exista, así como las características de talud, base y sub-base, del camino. Dentro de este informe, debe de quedar bien identificada la rasante, con la finalidad de que sea usada ya dentro del proyecto del puente.

### 3.2.3 LEVANTAMIENTOS PARA EL PROYECTO DE PUENTES.

Normalmente los levantamientos que se efectúan para la localización, suministran suficientes datos para proyectar alcantarillas y pequeños puentes; sin embargo, para los puentes de grandes claros y para estructuras de pasos a desnivel es necesario hacer levantamientos topográficos especiales en el lugar.

Estos levantamientos es necesario hacerlos con toda anticipación, con el objeto de dar tiempo para su proyecto y -para el caso de cruces a nivel o de corrientes navegables- conseguir la aprobación de la dependencia gubernamental correspondiente.

El levantamiento del lugar deberá contener todos los datos de localización, incluyendo el alineamiento y rasante de la terracería y la marca y referencia de todas las estaciones del levantamiento. La escala mas usual de los planos utilizados es de 1:1000 m y el intervalo de las líneas de nivel es 1m en pendientes fuertes, y de 50 cm en las zonas planas.

El informe preliminar que debe de acompañar al plano del lugar, debe de llevar todos los datos necesarios para hacer el proyecto económico, así como el carácter de la cuenca y del lecho de la corriente, las elevaciones de las aguas máximas y el carácter de la cimentación.

Para las estructuras de cruce a desnivel, los datos necesarios son semejantes, excepto que se refieren al camino que cruzan y a su tránsito en lugar de la corriente y su gasto, siempre será conveniente acompañar los informes con fotografías de la zona en estudio.

Para los puentes cortos, sin pilas dentro del flujo de agua, se traza primero la línea central, se determina el cadenamamiento de alguna línea importante como la del paramento de un estribo, en la línea localizada, y el ángulo de intersección con la línea localizada se marca el terreno.



Ejemplo de puente de claro corto.

Puente "Tunas I".

Esta línea transversal de referencia debe referirse a dos estaciones de tránsito fuera de los límites de la excavación o, si el paramento del estribo queda dentro de la corriente, a una línea paralela semejante en la playa.

De manera similar, deberán referirse las líneas de los aleros en la playa, fuera de los límites de la excavación, con dos puntos de tránsito en las prolongaciones, en uno, o de preferencia, en los dos extremos, de la línea de los aleros.

Si los paramentos son inclinados, generalmente se trazan dos líneas, una para el desplante y otra para la corona. Se ponen estacas para las excavaciones y se reemplazan según sea necesario.

Cuando se ha vaciado el concreto de la cimentación, se alinean los moldes en el desplante y luego en la corona. Al irse construyendo la estructura, se hacen nivelaciones para determinar los niveles de la construcción, poniendo marcas en la obra falsa o en las porciones endurecidas del concreto. Además, se marca el alineamiento en las porciones completadas de la estructura. Los datos deben de quedar registrados en las libretas de campo que se hacen especialmente para la estructura, principalmente por medio de croquis.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Cuando son necesarias visuales largas, o cuando es un trabajo de mucha precisión, como es el caso en el cual quedan las pilas dentro del flujo de agua, se establecen varias estaciones de tránsito en la playa por un sistema de triangulación, de manera de obtener ángulos de intersección favorables y comprobaciones para todas las partes de la obra. Para situar las pilas dentro del agua, se hacen visuales simultáneas de los extremos de una línea de longitud conocida.



En la fotografía se muestra a los ingenieros haciendo un levantamiento a lo largo del camino de una carretera, se observa el uso del teodolito para auxiliarse en el levantamiento.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Para los puentes largos es necesario que las distancias se midan con una precisión todavía mayor que la exigida en trabajos de primera clase, con objeto de que las partes de la superestructura puedan unirse con pequeñas tolerancias. Además, el sistema de coordenadas que se adopte para el control horizontal debe basarse en la elevación media de la estructura. Los trabajos topográficos se hacen por etapas, se marca la posición de las pilas con una precisión un poco menor que después se emplea en los apoyos que van en la parte superior de las pilas.

Cuando se usan ataguías, se ponen puntos de referencia sobre ellas para hacer medidas en la pila.

Cuando se ha completado la estructura se establecen puntos permanentes los cuales son marcados, para utilizarse en levantamientos futuros, para determinar la dirección y magnitud de cualquier movimiento.

### 3.3 UBICACIÓN Y ESTUDIOS DE LOS POBLADOS CERCANOS.

El reconocimiento de los poblados que se encuentren mas cercanos al lugar donde posiblemente se ubique el sitio del cruce, es de gran importancia por muchos factores que pueden afectar los intereses tanto de esos poblados como para la empresa o dependencia que ejecuta la obra en turno.

El hecho de tener ubicados los poblados, además de tener los resultados del comportamiento del afluente para el cual se requiere la construcción del puente, son de gran relevancia, ya que nos permitirá tener los parámetros de gastos y velocidades máximas del rio, por lo que sabremos de primera instancia los problemas que nos podría generar la construcción del puente, además de los problemas que nos podría generar el caso de una avenida máxima, y por lo tanto, tendríamos los datos suficientes para prevenir dichos sucesos y evitar así posibles accidentes que pudieran poner en riesgo a los poblados que se encuentren cercanos al sitio del cruce.

Una vez que se tiene identificado el sitio del cruce (Capítulo IV), el estudio de las poblaciones que pueden verse afectadas se puede realizar mas detallado.

Por otro lado, el hecho de hacer el estudio de los poblados cercanos nos permite conocer las condiciones socioeconómicas del lugar; la importancia de conocerlas, se deriva en que nos brindan datos como la actividad económica principal de la población o municipio del que se trate, si es un pueblo ganadero, agrícola, avícola, etc.



Allen Ruppel/PhotoDisc West

Si es ganadero, cual es el producto que comercializan, o bien si es agrícola, cuales son los tipos de productos que cosechan, arroz, frijol, café, maíz, caña de azúcar etc. O bien si es un poblado que tenga industria, que tipo de industria es la que existe, con que materia prima trabaja, donde la compran, que producto ofrecen y a donde lo venden, todo esto es importante conocerlo, porque nos da la pauta para conocer el tipo de camino que bien a de construirse.

Aunque en muchas de las ocasiones, no es trabajo del **Ingeniero Especialista en Puentes**, la elección del tipo de camino que ha de construirse, es importante que se tenga el conocimiento de los parámetros que se tomaron en cuenta para la toma de decisiones sobre el camino que se construye y para el cual se requerirá la construcción del puente.

### 3.4 TRABAJOS DE EXPLORACIÓN.

Otro aspecto de gran importancia que se debe de tomar en cuenta con la finalidad de tener más datos del lugar, es la exploración primaria que deben hacer los ingenieros junto con su brigada de trabajo.

Tal vez y en la medida en que sea posible, pueda realizarse esta visita ya con la ventaja de tener los datos geométricos e hidráulicos: la finalidad de esta visita o exploración primaria, es la de obtener todos los datos que se presenten en la naturaleza en el sitio probable de construcción del puente, conocer las condiciones geotécnicas de la zona y el reconocimiento del terreno y por lo tanto del tipo del tipo de suelo superficial.

Esta visita es importante que se haga por lo ingenieros encargados del proyecto, acompañados por un Ingeniero geotécnico o geólogo, un ingeniero topógrafo, y de ser posible por un especialista en Mecánica de Suelos.

La importancia de conocer el tipo de suelo que se encuentra en la superficie es que a partir de ahí, además de darnos un idea de la calidad de suelo en que vamos a trabajar, se puede definir desde ese momento el tipo de sondeos a realizarse, las distancias o lugares estratégicos de donde es mas factible ejecutarlos y por lo tanto el equipo que será necesario para llevar a cabo dicho trabajo.

Otro aspecto por lo que es importante la exploración primaria es que se aprovecha para conocer las características del cauce que se desee librar en caso de que sea un río, o bien las características del camino que se piensa librar en caso de tratarse de un paso superior.

En el caso de que se trate de un río, es importante poder observar la rugosidad de las superficies, en caso de que pueda apreciarse a simple vista, de no ser así tendrá que auxiliarse de algún aparato o bien de equipo que nos permita conocerlo mas a detalle.

#### 3.4.1 LA EXPLORACIÓN DE LA SUPERFICIE DEL CAUCE.

La rugosidad de las superficies está representada por el tamaño de los granos del material que forma el perímetro mojado de una sección hidráulica, y que producen un efecto de frenado o retardado en el escurrimiento debido a la fricción. La rugosidad es el principal factor que se considera para la obtención del valor "n" de Manning.

De muchas pruebas que se han realizado, podemos dar como conclusión que cuando se trata de granos finos así como las arenas los valores de "n" son muy bajos, contrariamente cuando se trata de gravas y boleas ya que para estos los valores de "n" son muy grandes.

Al hablar de la rugosidad, debemos mencionar también que aspectos como la vegetación, deben ser considerados como una clase de rugosidad superficial, ya que esta reduce en gran medida la capacidad del cauce y retarda por lo tanto el escurrimiento. Para la obtención del valor de "n" en presencia de vegetación, se deberá de tomar en cuenta factores como la altura, densidad, distribución y el tipo de vegetación del que se trate.

Por ejemplo, al comparar dos cauces, cuyos demás factores sean los mismos, el tirante promedio mas bajo, produjo los valores mas altos de "n". esto se debió a que la vegetación fue el factor que influyo en una proporción mas alta. Así un cauce de sección transversal triangular tiene el valor de "n" mas alto que uno trapecial; y por lo tanto un cauce amplio extendido tiene valores de "n" mayores que un profundo. Un escurrimiento con tirantes altos tiende a doblar la vegetación y a producir valores mas bajos para "n" por la sencilla razón que para este caso será menor la acción de frenado o retardado del escurrimiento.

Las **irregularidades** que presente el cauce, generarán por lo tanto irregularidades en el perimetro mojado originando variaciones en la sección tanto en forma como en magnitud a todo lo largo del cauce.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

En los cauces, estas irregularidades son generalmente producidas por los materiales que forman el cauce, como son los bancos de arena, dunas de arena, elevaciones y depresiones del fondo, etc. Estas irregularidades ocasionan definitivamente una rugosidad adicional a la causada por otros factores.

En la medida en como se presenten estas irregularidades en el cauce repercutirán en la obtención del valor de "n", ya que si hablamos de un cambio gradual y uniforme de la irregularidad del cauce tanto en la forma y tamaño de la sección no afectará de manera apreciable el valor de "n"; sin embargo, cuando este cambio se brusco ó exista una alteración grande en la sección, entonces se producirán incrementos considerables en el valor de "n".

Como podemos observar la exploración del cauce, y sobre todo de la superficie que este tenga nos dará la pauta para la obtención del valor de "n" de Manning, por lo tanto es muy importante la exploración que se haga en el cauce, ya que aunque se realice preliminarmente, el hecho de tenerla nos puede dar valores que nos ayuden a tener datos preliminares que pueden ser utilizados para un anteproyecto.

### 3.4.2 ALINEAMIENTO DEL CAUCE.

La forma que tenga el cauce es otro factor que es de gran importancia, y que podemos observar y obtener de nuestra visita al sitio.

El cauce tiene muchas formas, las cuales influyen directamente en la obtención del valor de "n", se debe obtener la forma que tiene el cauce en las proximidades a donde queremos situar el puente, para tener una idea de el comportamiento de éste, y de las características con que llegará el afluente al sitio del cruce.

Las curvas suaves y de radios grandes darán relativamente bajos valores del coeficiente "n", mientras que curvas forzadas y meandros continuos, nos incrementarán considerablemente el valor de "n". Recomienda Scobey que se aumente el valor de "n" en 0.001 por cada 20° de curvatura en 300m de cauce. Aunque no ha sido comprobado que por efectos de la curvatura el valor de "n" se incremente mas que 0.002 ó 0.003, este efecto no debe ser ignorado porque la curvatura induce a la acumulación de sedimentos e indirectamente influye en el valor de "n".

Generalmente cuando hablamos del incremento en la rugosidad por curvatura en cauces que conducen agua a baja velocidad, es despreciable. En los meandros que hacen los cauces naturales se considera que debe aumentarse el valor de "n" en un 30%.

Por tanto podemos darnos cuenta de la influencia que tiene la forma del cauce para determinar las características con que llega el flujo al sitio del cruce.

Además debemos de tomar en cuenta que el hecho de conocer la superficie del cauce, nos permite tener una idea de los efectos que pudiera tener la erosión y sobre todo la socavación una vez que este colocada la subestructura dentro del cauce.



La imaginación es más importante que el conocimiento.

**Albert Einstein.**

# IV) ESTUDIOS TÉCNICOS.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



---

## IV) ESTUDIOS TÉCNICOS.

### 4.1 IMPORTANCIA DE LOS ESTUDIOS TÉCNICOS.

Los estudios técnicos tienen una finalidad específica, ya que la información obtenida de estos, posteriormente será utilizada para la realización tanto del anteproyecto, como del proyecto final, todo esto con el objetivo de lograr el buen funcionamiento del camino, y en un caso muy particular al buen funcionamiento de nuestro puente.

Debemos señalar que desde las construcciones de los primeros puentes, que en un inicio fueron construidos exclusivamente para vías férreas, probablemente, realizaron ya exploraciones del subsuelo, levantamientos topográficos de la zona de cruce y algunos estudios hidráulicos. Máquinas perforadoras para el estudio del subsuelo, antecesoras de las actualmente en uso, fueron utilizadas ya en 1930, época en que también se realizaban estudios topográficos e hidráulicos, siguiendo técnicas similares a las actuales.

En 1956, se creó la División de Estudios Superiores de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, que estableció dentro de sus planes de estudios, entre otras, las maestrías en Mecánica de Suelos y en Hidráulica, y aproximadamente en 1960, se impartió el primer curso de especialización en vías terrestres. Así el personal capacitado en estas áreas de conocimientos se incrementó de manera importante, y esto se reflejó de inmediato en la tecnología de los estudios.

También en esa época, se hicieron los primeros análisis hidrológicos y geofísicos, aplicándolos a los estudios previos de puentes y, algunos años más tarde se construyeron los primeros modelos hidráulicos.

En la actualidad, se realizan como paso previo al proyecto, construcción y conservación de puentes, estudios geológicos, topohidráulicos, de cimentación y algunos de tipo especial. Antes de iniciarlos, es necesario definir el sitio de cruce, atendiendo diversos aspectos, entre los que se pueden mencionar los relativos al proyecto geométrico de la ruta, que toma en cuenta las características fijadas en el estudio de planeación, la importancia del puente y las condiciones geotécnicas del subsuelo, topográficas e hidráulicas.

En un principio, los cruces eran elegidos buscando los sitios más estrechos y ubicando la estructura normalmente a la dirección del escurrimiento, condiciones aceptables en épocas anteriores por el bajo volumen de tránsito que circulaba por las carreteras nacionales; se concedía fundamentalmente importancia a las condiciones hidráulicas, de cimentación y características topográficas de la zona.

El gran incremento del tránsito obligó la construcción de vías de comunicación de mejores especificaciones, para minimizar tiempos de recorrido con mayor grado de seguridad, situación que condicionó la localización de los puentes al proyecto geométrico de la vía.

Solo en casos muy especiales, las condiciones hidráulicas, topográficas y de cimentación serán determinantes. En el caso de los ferrocarriles que también deberán construirse o modernizarse con altas especificaciones, los criterios a seguir serán prácticamente los mismos considerando, adicionalmente, los requerimientos de pendiente de este medio de transporte.

Sin embargo, en cualquier caso, se deben efectuar recorridos preliminares para programar los estudios. Estos recorridos los hacen especialistas en Mecánica de Suelos e Hidráulica, generalmente acompañados de un ingeniero geólogo, como se describe en el capítulo anterior. Si el caso lo amerita, podrá modificarse el sitio de cruce, siempre solicitando la opinión del Ingeniero Especialista en Puentes.

Los estudios técnicos como hemos visto juegan un papel importante en el análisis para el proyecto de puentes, sin embargo, es indispensable modernizar aún mas los procedimientos de ejecución y la difusión de la información a los usuarios, con una mayor utilización de equipos de computo y graficadoras que permitan automatizar la realización de los estudios. Para lograrlo, convendrá utilizar cada vez mas equipo topográfico electrónico de precisión, y adquirir o desarrollar programas que permitan lograr la automatización de los estudios de cimentación y topohidráulicos, optimizando la elaboración de la información que proporcionan. Es importante ingresar información a la computadora según se valla obteniendo, ya que los datos preliminares permitirán al usuario prever los problemas que se presentarán en los estudios subsecuentes o en el proyecto y construcción de la obra y la realización de anteproyectos y estudios de alternativas.

Es importante realizar una investigación para adecuar a las condiciones de México los métodos hidrológicos, basándose en la información hidrométrica y pluviográfica disponible, para definir el método más conveniente a cada una de las regiones hidrológicas del país, y coeficientes de ajuste, que permitan obtener gastos más confiables. Podrá recurrirse, también, a la instrumentación de cuencas.

Otro punto que resulta interesante, es lograr que en nuestro país se consiga el establecimiento de una red de pluviógrafos más numerosa y con una distribución mas adecuada, para lograr tener datos más exactos sobre el comportamiento de un cauce de acuerdo a su cuenca.

Es claro que pese a que en nuestro país la tecnología con la que se cuenta no es una tecnología de punta, el trabajo de investigación de nuestros ingenieros ha sido de gran valor, y nos han permitido avances a un ritmo rápido. sin embargo queda claro que nuestro país necesita cada vez de mas y mejores ingenieros bien preparados, capaces de resolver los problemas que se presenten en el análisis, proyecto, construcción o mantenimiento de los puentes.

Por otro lado, deberán utilizarse cada vez mas equipos de laboratorio modernos, que proporcionen, en forma rápida, las graficas y parámetros del suelo de manera automatizada.

## 4.2 ESTUDIOS DE INGENIERÍA DE TRÁNSITO.

La ingeniería de tránsito, es la que se encarga de realizar todos los estudios referentes al tránsito transversal (vehicular) de los caminos y carreteras, y toma en cuenta el tipo de vehículos que circularán por esta vía; para el diseño y cálculo de los puentes es un factor primordial, ya que de esto dependerá el cálculo estructural, y por lo tanto, la funcionalidad y seguridad de este.

Como el camino debe de brindar el servicio al vehículo, se deben de conocer sus características, por otro lado, el volumen o número de vehículos que transitan por el camino o que transitarán por este inicialmente debe de compararse o estudiarse también a futuro. Para esto, debe de analizarse la disposición de los ejes o llantas, las cargas de los vehículos, el tránsito del carril de diseño, etc.

Aunque este estudio debe corresponde mas a al estudio de la carretera en un principio, no esta de mas hacer una revisión, así que esta información puede ser proporcionada por el departamento que se halla encargado del estudio del camino.

Por lo tanto, en la ingeniería de tránsito recae la responsabilidad de decidir la necesidad de construir ó no un camino. Para esto se ayudará de varios estudios, análisis y cálculos, que finalmente respaldarán y sustentarán la proyección de una nueva carretera, o bien la ampliación de un camino ya existente.

### 4.2.1 DEMANDA DE LAS VÍAS DE COMUNICACIÓN.

La demanda de las vías terrestres se origina por los resultados de aforo realizados en los caminos o carreteras ya existentes. Los aforos se realizan para determinar la composición y el volumen de tránsito en un sistema de carreteras, para evaluar índices de accidentes, para determinar el número de vehículos que viajan en cierta zona ó a través de ella, para clasificar estrangulamientos puntuales en el sistema y para determinar el nivel de servicio de la misma, por medio de estudios de origen y destino de los flujos de carga y pasajeros, de tiempo de recorrido y de capacidad vial, que permiten evaluar la planeación de rutas y determinación de proyectos geométricos que sirven como base en la clasificación de caminos, así como proyectar sistemas de control de tránsito, con la finalidad de elaborar programas de conservación que establezcan prioridades de construcción, y finalmente determinar el tránsito a futuro.

Los estudios de aforo deben de realizarse para cualquier tipo de camino que piense proyectarse, sin importar la situación de tránsito. Estos estudios cuentan con métodos diversos los cuales se adaptarán dependiendo de los análisis que se necesiten.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Los problemas de tránsito pueden ser resueltos por medio de los datos y análisis ordenados obtenidos y con la aplicación uniforme de dispositivos que prevengan, guíen y controlen al usuario por medio de la ingeniería de tránsito.

Los **análisis de volúmenes de tránsito y el número de accidentes**, se desarrollan con la finalidad de obtener y conocer el número de vehículos que pasan por un punto dado, estos estudios varían desde los muy amplios en un sistema de caminos, hasta recuentos en lugares específicos, tales como puentes, túneles o intersecciones.

En cuanto a los volúmenes de tránsito, se necesita estudiar los diferentes tramos de una carretera y como fuentes de los datos obtenidos son los estudios de **origen y destino**, cuyo objetivo primordial es conocer el movimiento de tránsito en cuanto a los puntos de partida y de término de los viajes, adicionalmente se obtienen datos del comportamiento del tránsito en cuanto a su magnitud y composición. De la misma manera se obtienen informes de cada viaje, la ubicación del origen y destino, tiempo de viaje, uso de la tierra en el origen y destino, datos sobre las características socioeconómicas del viajero y de su familia.

En estos estudios se registran las rutas de los diferentes tipos de vehículos y los productos o pasajeros que transportan por cada sentido, la mayoría de los estudios de origen y destino, empiezan con la delineación de una zona específica para resumir los puntos de origen y destino del tránsito dentro de las áreas razonablemente pequeñas ya que el tamaño de la zona estará gobernado por el tamaño del área, densidad de población y propósito de estudio.

Es muy común que se utilicen las barreras naturales, tales como ríos, vías de ferrocarril, terrenos montañosos y otros obstáculos que impidan el movimiento libre y que presenten obstáculos al tránsito, para líneas divisorias en los análisis de volúmenes de tránsito.

El estudio es utilizado principalmente con propósito de planeación, particularmente en la localización, diseño y programación de caminos nuevos y transporte público.

Por otro lado, para poder evaluar el número de accidentes en un tramo, es importante identificar primero los lugares donde se presentan con mayor frecuencia; las causas principales de los accidentes se pueden originar por el pavimento resbaloso, nieve o niebla, conducir en estado de ebriedad, fallas en los frenos, exceso de velocidad, o bien, un inadecuado control de tránsito.

El análisis consiste en estudiar las causas que ocasionan los accidentes, siendo el propósito del estudio utilizar técnicas de la ingeniería, para la prevención de los mismos.

Se deben hacer también un conjunto de estudios denominados: **estudios de tiempo de recorrido**.

Estos se clasifican en dos formas, por el método de las placas, cuya función es determinar la velocidad promedio sobre toda la ruta, cuando la corriente de tránsito no incluya a gran número de vehículos que salgan del camino; y el otro método es el de vehículos de prueba, es aquel en el cual la ubicación y duración de cada demora, puede ser registrada y cronometrada.

Estos estudios de tiempo de recorrido cubren tramos largos y normalmente las variables determinadas, son la velocidad promedio y sus desviaciones. Los resultados pueden ser usados para distribución del tránsito o programas de mejoramiento.

Existe un pequeño estudio, pero que no es de menor importancia, este estudio es el de **capacidad vial**, el cual es esencial para un diseño lógico, económico y funcional de nuevas obras.

La capacidad es una medida de la efectividad de varias obras para servir al tránsito, es decir, es el número máximo de vehículos por unidad de tiempo que pueden ser manejados por un componente particular de un camino bajo las condiciones prevaletentes.

La capacidad de un camino se afecta por causas tanto internas como externas; las influencias externas son físicas, tales como, la anchura del carril, la distancia libre lateral, la anchura de los acotamientos, etc.; mientras que por otro lado, las internas se deben a variaciones en la demanda, composición del tránsito, porcentajes de entrecruzamiento o vueltas, etc.

Es necesario considerar que cualquier obra tiene su capacidad posible máxima; el máximo número de vehículos por hora que pueden ser alojados dentro de la que razonablemente puede esperarse, antes de que el nivel de servicio sea considerado inaceptable.

#### **4.2.2 ASPECTOS IMPORTANTES DE LA INGENIERÍA DE TRÁNSITO.**

Con la finalidad de que el camino brinde el mejor servicio al vehículo, se deben de conocer todas las características, como el volumen o número de vehículos que transitarán actualmente y a futuro, la disposición de los ejes o llantas, las cargas de los vehículos, el tránsito en el carril de diseño etc.

#### **CARACTERÍSTICAS DEL TRÁNSITO.**

- TRÁNSITO DIARIO PROMEDIO ANUAL (T.D.P.A)

Corresponde al número de vehículos que transitan por un camino en los dos sentidos, durante un año y entre los 365 días del año. Para determinar el tránsito de un camino por construir, es necesario hacer un conteo de los vehículos que actualmente hacen el viaje por el camino existente, a esta ocupación es la que se le denomina obtención del **"Aforo"**.

- **TRÁNSITO INDUCIDO.**

Es aquel que ya tiene un itinerario fijo bien establecido, pero que al construir otro camino que sea más factible, más rápido, más cómodo y seguro, lo modifica o bien lo sustituye por el nuevo camino.

- **TRÁNSITO GENERADO.**

Es aquel que se crea debido al crecimiento o desarrollo de la región por donde pasa el camino, se puede estimar determinando el área potencialmente productiva y calculando el número de camiones necesarios para extraer la producción agrícola ganadera e industrial. Este es complementado con estudios de origen y destino.

#### **4.2.3 TRÁNSITO EN EL CARRIL DE DISEÑO.**

El tránsito en el carril de diseño, depende del número de carriles con que cuenta el camino. En caminos de dos carriles, se emplea del 60 al 65% del T.D.P.A.; en caminos de cuatro carriles el 50%; y en caminos de seis carriles el 40% del T.D.P.A.

La composición del tránsito en el carril de diseño varía de acuerdo al tipo de vehículos y a las cargas a las que el camino se verá forzado a soportar.

Al menos deberán existir tres categorías de vehículos, los ligeros de menos de tres toneladas, los autobuses, y los camiones pesados de más de tres toneladas.

Observemos la tabla 4.2.3.1, en la cual se presentan las configuraciones de ejes más usadas.

#### **CRITERIO DE TRÁNSITO MEZCLADO:**

Como en los caminos diseñados o carreteras transitan u operan vehículos de diferentes características, se propone un vehículo de diseño hipotético con una carga de 8.2 ton por eje sencillo con rueda doble y se emplea un FACTOR DE DAÑO, el cual es obtenido de la relación entre el daño causado al camino por el vehículo en estudio, en relación con el daño causado al camino por el vehículo estándar.

$$Fd = Nt / Na \quad \text{donde:}$$

Fd = Factor de daño.

Nt = No. de pasadas del vehículo estándar que dañan el camino.

Na = No. de pasadas del vehículo en estudio que dañan el camino.

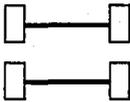
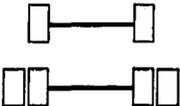
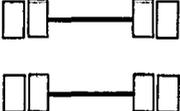
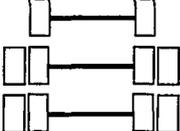
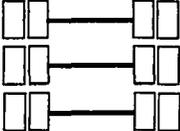
| TIPO DE EJE.  | DESCRIPCIÓN                          |
|---|--------------------------------------|
|    | EJE SENCILLO CON DOS LLANTAS.        |
|    | EJE SENCILLO CON CUATRO LLANTAS.     |
|    | EJE DOBLE CON CUATRO LLANTAS.        |
|    | EJE DOBLE CON SEIS LLANTAS (TANDEM)  |
|    | EJE DOBLE CON OCHO LLANTAS (TANDEM)  |
|   | EJE TRIPLE CON DIEZ LLANTAS (TRIDEM) |
|  | EJE TRIPLE CON DOCE LLANTAS (TRIDEM) |

TABLA 4.2.3.1

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

#### 4.2.4 FACTOR DE PROYECCIÓN A FUTURO.

El factor de proyección a futuro, es un método que nos permite deducir o conocer la cantidad de vehículos que transitarán por cierto camino para un cierto tiempo a futuro.

Para poder utilizar este método, es necesario que se cuente con datos estadísticos en donde podamos observar el incremento anual del tránsito, principalmente por datos de estaciones de aforo con las que se cuenten, y que tengan ya una cierta antigüedad.

Este factor de proyección a futuro se puede obtener mediante la siguiente expresión:

$$C = \frac{(1 + r)^n - 1}{r} \times 365$$

de donde:

n = periodo para el cual se quiere el diseño

r = tasa de incremento anual.

De esta manera obtenemos el factor de proyección a futuro, el cual nos proporciona una cantidad aproximada de vehículos que utilizarán el camino dentro de unos cuantos años, específicamente para el año que se quiera conocer.

#### 4.2.5 EL FACTOR ECONÓMICO. CRITERIOS DE EVALUACIÓN.

Las vías terrestres son obras de infraestructura, y son aquellas obras que se construyen con la finalidad de propiciar el desarrollo de un país. Su construcción, conservación y operación en general está a cargo de los gobiernos de los países.

Estas obras deben de cumplir con dos características: ser funcionales y económicas.

Se dice que una obra es funcional cuando cumple con las finalidades para las cuales fue proyectada; y se dice que es económica, cuando la suma de los costos de construcción, conservación y operación son menores con relación a otras alternativas.

Los criterios para valuar la conveniencia de la realización de un tramo carretero, dependen del medio económico al que sirve, ya que finalmente, al invertir en una carretera, las consecuencias serán muy distintas si se realiza en una zona con un cierto grado de desarrollo, o bien, si se hace en una zona donde apenas se inicie un proceso de incorporación a la economía de mercado; por lo tanto y como consecuencia del factor económico, en nuestro país se han establecido diferentes tipos de carreteras, dando lugar a una clasificación de los

caminos de acuerdo a su utilidad socioeconómica, dicha clasificación es la siguiente:

- a) Caminos de integración nacional.
- b) Caminos de función social.
- c) Caminos de penetración económica.
- d) Caminos para zonas en pleno desarrollo.

a) Los caminos de integración nacional, se construyen para preservar la identidad nacional de un país, y para que sus habitantes conserven su idiosincrasia, como un ejemplo se puede mencionar los caminos costeros del golfo y del pacífico, los caminos fronterizos tanto del norte como del sur, la carretera transpeninsular de Baja California y la carretera Panamericana. El criterio de elección de proyectos era cargo del presidente de la Republica en turno, que en su carácter de estadista, decide cuantos caminos de esta característica construir.

b) Los caminos de función social son los caminos que se construyen para comunicar alguna zona e integrar al desarrollo nacional a las zonas marginadas por falta de comunicación. Estas obras funcionan como la infraestructura de la infraestructura, pues una vez construidos es más fácil dotar a las comunidades de servicios asistenciales básicos, como son el agua potable, alcantarillado, energía eléctrica, clínicas y bodegas de alimentos. Estas son las obras en las que las consecuencias de invertir se manifiestan principalmente en el campo social, debido a que la zona de influencia es de escasa potencialidad económica pero con fuerte concentración de población. Allí, la comunicación permanente extrañará un cambio decisivo en el modo de vida. Es pues natural que en estos casos el criterio de evaluación se base en la relación entre el monto de inversión y el número de habitantes por servir.

$$\text{Costo per-cápita} = \frac{\text{Costo del camino}}{\text{No. habitantes beneficiados}}$$

c) Los caminos de penetración económica se construyen para enlazar los polos de producción con los del consumo, o bien en aquellas regiones con un alto potencial productivo en agricultura, ganadería, minería, pesca, industriales, turísticos, educacionales, y de servicio. Por lo tanto, podríamos decir que en estos caminos el impacto principal es la incorporación al proceso de desarrollo general de zonas potencialmente productivas.

Son obras que proporcionan la realización de inversiones en otros sectores y el rápido incremento en las actividades económicas, y por lo tanto, la principal consecuencia será el aumento de la producción, primero en las actividades primarias y después en las de transformación y servicios. El criterio de evaluación en este caso, se basa en la productividad de la inversión que se calcula a partir de la producción que sería agregada a la economía nacional, mediante la construcción de la obra vial considerada. Entonces, el valor de esa producción en cierto año, se relaciona con el costo de la obra y se obtiene así un índice llamado de productividad que, aún cuando no expresa un valor absoluto de las ventajas de la inversión, permite comparar distintas inversiones dentro de esta categoría.

En el cálculo del valor de la producción, se tienen en cuenta las actividades primarias y se estima de acuerdo con las técnicas y rendimientos tradicionales de la región, sin considerar la evolución de esa producción a través del tiempo, a fin de mantener una posición conservadora en cuanto al indicador del beneficio de la inversión. El cálculo del costo se limita a la consideración de la cantidad necesaria para la construcción e la obra vial idónea. Como la relación que proporciona el índice de productividad se establece al margen del factor tiempo, no se consideran los costos de conservación, ni las inversiones necesarias para mejorar las condiciones de la obra, de acuerdo con su evolución. La omisión de estos costos se encuentra ampliamente compensada con los beneficios de carácter social, que la obra supone.

La expresión que establece el índice de productividad puede escribirse de la siguiente forma:

$$IP = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^a P_i}{C}$$

De donde:

**IP** = Índice de productividad.

**$x_i^a$**  = Volumen de la producción del bien "i", en el año "a", en la zona de influencia de la carretera.

**$P_i$**  = Precio del bien "i".

**C** = Costo de construcción de la carretera.



- d) Los caminos para zonas en pleno desarrollo, se refieren a las autopistas con control total o parcial de acceso, carriles de aceleración y desaceleración, intersecciones a desnivel, caminos más rápidos, cómodos y seguros, y son caminos de cuota.
- Los beneficios directos cuantificables que aportan estas obras a la colectividad, son los ahorros en costos de tracción y en tiempos de recorrido y la supresión de pérdidas motivadas por los posibles congestionamientos, que se presentarán al rebasarse la capacidad del camino. La posibilidad de cuantificar estos ahorros con cierta precisión, con base en observaciones directas y en la proyección a futuro, permite compararlo con los gastos que habrán de efectuarse necesariamente a lo largo del plazo de previsión y establecer un índice de rentabilidad de la inversión propuesta.

El cálculo de cada uno de los ahorros se realiza mediante la comparación entre los costos para la situación actual y los que prevalecerán una vez construida la obra propuesta. Esta comparación se hace para toda la vida útil de la nueva obra y se calculan los ahorros totales, es decir, el beneficio que esta proporcionará, en cada uno de los años en que estará en servicio. La estimación de costos se realiza, también, a lo largo de la vida útil de las obras, tomando en cuenta tanto la inversión inicial, como los costos de conservación y de posibles reconstrucciones que debieran realizarse. Una vez obtenidos los beneficios y costos que se presentarán durante la vida útil de las obras, se proceden a determinar lo que puede estimarse como su valor actual.

Para estimar el valor actual de un peso ganado o gastado en cada uno de los años futuros, se aplica una tasa de actualización del 12% (desde el punto de vista financiero, la tasa de actualización incluye el "costo" del capital usado en la inversión y la disminución en el tiempo del poder adquisitivo de la moneda)

La aplicación de las consideraciones anteriores se resume en una comparación para cada alternativa, cuyos elementos son los beneficios y costos al año y sus respectivos valores actualizados. La suma de los beneficios actualizados representa el valor que podemos asignar hoy a los beneficios que la inversión producirá en el tiempo considerado; asimismo, la suma de los costos actualizados representa el valor actual que la inversión implica durante el mismo periodo.

El cociente que resulta de dividir los beneficios actualizados entre los costos actualizados es un índice de rentabilidad que expresa la calidad de la inversión, el cual permite rechazar las inversiones no rentables y, por comparación, establecer la relación de las rentables.

Por tanto, podemos expresar el índice de rentabilidad de la manera siguiente:

$$IR = \frac{B_0 + B_1 \frac{1}{1+a} + B_2 \frac{1}{(1+a)^2} + \dots + B_n \frac{1}{(1+a)^n}}{C_0 + C_1 \frac{1}{1+a} + C_2 \frac{1}{(1+a)^2} + \dots + C_n \frac{1}{(1+a)^n}}$$

De donde:

**IR** = Índice de rentabilidad.

**B<sub>i</sub>** = Beneficio total en el año "i".

**C<sub>i</sub>** = Costo causado por obra en el año "i".

**a** = Tasa de actualización, considerada constante en el periodo estudiado.

En virtud de la distinta naturaleza de las consecuencias que se presentarán para cada tipo de carretera, es necesario aclarar que los criterios de evaluación descritos solo permiten el establecimiento de relaciones en cada categoría, ya que no es posible compararlas entre sí.

- La tasa de actualización del 12% varía dependiendo de los estudios económicos.

Todos estos estudios son necesarios para poder tomar la decisión adecuada sobre la construcción de un camino, y por lo tanto nos repercutirá para la decisión de construir o no el puente que requerirá dicho camino.

Existen algunos otros aspectos que tal vez no son tan cuantificables, pero que sin embargo nos pueden dar una pequeña pauta sobre los beneficios que pueda proporcionar la construcción de dicho camino, como son la comodidad y la seguridad, ya que aunque son factores menos tangibles, nos pueden dar una idea de los beneficios al no presentarse pérdidas por daños materiales, y este índice es de gran importancia, sobre todo por los beneficios proporcionados por el camino a largo plazo.

Debido a que estos caminos generalmente se refieren a los caminos de cuota concesionados, es decir, a las autopistas, generalmente son caminos de 2, 3, 4 ó más carriles, ya que son caminos diseñados en muchas ocasiones para un gran número de usuarios, es decir, para aforos muy grandes, como lo son los caminos que llegan a la Ciudad de México.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 4.3 ELECCIÓN DEL CRUCE.

La ELECCIÓN DEL CRUCE, es uno de los aspectos más importantes que deben de cuidarse en los proyectos de puentes, ya que de ella dependerán tanto el buen funcionamiento de la estructura como la economía en su construcción, la elección del cruce requiere un estudio detallado, en el que este pensado tanto la mejor ubicación para la subestructura además de tomar en cuenta los problemas que pudiera ocasionar el comportamiento del cauce; para el caso de un paso superior de igual manera debe de buscarse el mejor sitio para realizar el cruce de los caminos.

Se debe de tomar en cuenta que una vía de comunicación no sólo nos exige una adecuada planeación económica y la selección de la ruta y materiales de construcción más convenientes, sino que también requiere de un diseño racional de sus obras de drenaje que permitan desalojar en cualquier momento y en forma eficiente los volúmenes de escurrimiento aportados por las lluvias en cualquier tramo de la carretera, así como permitir el paso de los cauces de drenaje natural sin obstruir considerablemente el escurrimiento.

El agua de lluvia que se precipita sobre la carretera y las laderas adyacentes debe recogerse y eliminarse sin provocar inundaciones o destrucciones a las mismas. Esto se evita en la carretera construyéndola con una pendiente transversal que permita el drenaje a los lados del pavimento; el agua colectada debe eliminarse sobre los taludes si no se ocasionan problemas de erosión y en caso contrario deberá conducirse en la dirección del camino dentro de cunetas o mediante bordillos para posteriormente eliminarse. Cuando la carretera tiene cortes permeables la eliminación de los escurrimientos puede exigir el empleo de drenes de zanja, de tubo ranurado, que permitan desaguar las infiltraciones producidas desde los taludes.

Por lo tanto, "al efectuar el trazo preliminar de una ruta, deberá seleccionarse cuidadosamente el sitio del cruce de las corrientes fluviales, con objeto de reducir al mínimo los costos de construcción, conservación y en su caso de reposición de los puentes", esta es una recomendación que nos hacen en las Normas Técnicas para el Proyecto de Puentes Carreteros de la S.C.T. Estas recomendaciones son lógicamente lo que buscamos al proyectar un puente, y que no-solo debemos de tomar en cuenta los costos de construcción, sino que se sabe de antemano que la estructura requerirá de un mantenimiento, y por lo tanto se debe de prever este para facilitarlo y que a su vez el costo sea menor.

La sección transversal de una carretera en corte cuenta normalmente con contracunetas y zanjas de intercepción que capturan el agua de escurrimiento proveniente de los taludes para evitar erosiones y exceso de agua en las cunetas.

En algunas ocasiones una contracuneta mal proyectada o sin conservación (impermeabilización), puede ser el punto de partida de una superficie de falla por lo que, si no son muy necesarias, es mejor evitarlas.

Generalmente las carreteras cruzan cauces de drenaje natural a los cuales se les debe permitir el paso sin causar daños a la propiedad aguas arriba y aguas abajo. El paso se efectúa por medio de alcantarillas, vados, puentes vado o puentes.

Los vados son estructuras que se construyen para permitir el paso de los cauces de drenaje natural a través del camino, sin modificar prácticamente la forma de su escurrimiento, efectuándose éste sobre la superficie de rodamiento. Este tipo de estructuras es de construcción recomendable en caminos de baja inversión o cuando se tiene un bajo volumen de tránsito, cauces no definidos, frecuencia baja de escurrimientos o corta duración de éstos.

Un puente vado es una estructura semejante a la de un puente, pero proyectada para permitir el paso de las avenidas máximas por encima de ella, por tanto, su área hidráulica debe considerar únicamente el paso del gasto correspondiente a las avenidas ordinarias. Generalmente se usan cuando el río tiene un caudal permanente, debiéndose además cumplir las mismas condiciones anotadas para los vados.

En el caso de los puentes cuando la corriente que se cruza es importante, es probable que el costo de la estructura sea elevado en comparación con el costo de los accesos, lo cual obliga a buscar el sitio de la corriente en donde el costo del conjunto carretera-puente sea el mínimo.

Para determinar el lugar en que la carretera cruzará el río -en caso de ser un río el que quiera librarse-, es una parte muy importante de un proyecto carretero, como ya se mencionó, de su adecuada elección dependerá el buen funcionamiento del conjunto carretera-puente, tanto en lo relativo al servicio que presta, como al aspecto ingeniería (técnico), del mismo.

Para lograr esto se deberá tomar en cuenta la economía general del camino y un balance adecuado de los problemas de alineamiento, movimiento de tierras, operación de la ruta, funcionamiento hidráulico y geología de la zona.

Así mismo, se deben de estudiar el curso de los meandros, y en caso necesario, se debe rectificar el curso de la corriente mediante obras de encauzamiento u otras medidas que pudieran reducir los problemas de erosión y la posible pérdida de las estructuras.

Es importante considerar que cuando se pretenda construir la cimentación de los puentes transversalmente a un cauce que hemos modificado, se deberá proyectar siempre tomando en cuenta el surgimiento de posibles ensanchamientos o bien la existencia de una mayor profundidad del cauce.

Si bien, existieran grandes zonas inundables, debemos considerar la necesidad de construir terraplenes de acceso con escasa altura para facilitar el paso de avenidas extraordinarias sobre la rasante del camino, con la finalidad de evitar que la avenida se lleve la estructura y esta se pierda en su totalidad.

Cabe mencionar también que existen ocasiones en que resulta necesaria la construcción de estructuras de desfogue, con el fin de facilitar el escurrimiento natural de las aguas y reducir los remansos, para estos casos entonces, se tendrá que seleccionar cuidadosamente tanto la ubicación de las estructuras como sus dimensiones, con esto estaremos evitando socavaciones perjudiciales o cambios en el cauce principal del río.

Como podemos darnos cuenta, la ubicación del cruce es un aspecto muy importante, que depende de muchos factores, por lo que es importante tener la mayor información posible del lugar, y principalmente del camino que este proyectado o bien en construcción, ya que esto nos facilitará la elección de la mejor alternativa. Por ejemplo, en el caso en que, los estudios hidrológicos estuviesen terminados, es decir, que ya se contara con datos como el gasto, la velocidad, etc.; estos datos podrían influir en gran medida para la elección del sitio de cruce, por eso es que se hace tanta insistencia en lo importante que es tener todos los datos posibles, y estudios que ya se hallan realizado para poder definir con mayor precisión y seguridad el cruce del camino.

La ubicación del cruce por lo tanto, dependerá principalmente de los siguientes factores, los cuales se enuncian y explican, con el fin de dejar mas clara su importancia, además de mencionar cuales son las partes importantes de cada uno de ellos para tomarse en cuenta al momento de hacer la elección del sitio:

- a) Alineamiento general del camino.
- b) Aspecto hidráulico.
- c) Aspecto topográfico.
- d) Aspecto geológico.

- a) **Alineamiento general del camino.** El lugar del cruce está determinado fundamentalmente por el alineamiento general del camino ya que el alejarnos de éste ocasionará mayores gastos de construcción y mayores tiempos de recorrido. Así pues, se seleccionará entre aquellas secciones que sean adecuadas para el cruce desde los puntos de vista hidráulico, topográfico, geológico, etc., que se ajusten lo más posible al alineamiento general del camino. El rango de ajuste al alineamiento no es un dato determinado sino que está en función del balance entre el costo del puente y de los tramos de acceso necesarios. Debe considerarse también el tipo de camino, ya que de su importancia depende que pueda o no alejarse del alineamiento general, puesto que para volúmenes bajos de tránsito como los que se presentan en caminos de tipo social o de penetración económica, tal vez no sea muy importante el aumento en el tiempo de recorrido como en el caso de un camino con altos volúmenes de tránsito.

- b) **Aspecto hidráulico.** El puente como obra de drenaje deberá permitir salvar el río en todo tiempo sin ocasionar problema en el funcionamiento hidráulico del mismo, por lo que es recomendable elegir para el cruce un tramo del río que nos proporcione cierta certeza de que no se afectará notablemente dicho funcionamiento.

Para esto es necesario tomar en cuenta los siguientes factores al elegir el cruce:

- b.1) Tramo del río con cauce recto en las inmediaciones del cruce, ubicado éste lo más alejado posible de curvas aguas arriba o abajo, pero principalmente de las aguas arriba. Esto es con el fin de que la estructura no quede en zonas que puedan ser erosionadas por el cambio de dirección del agua.

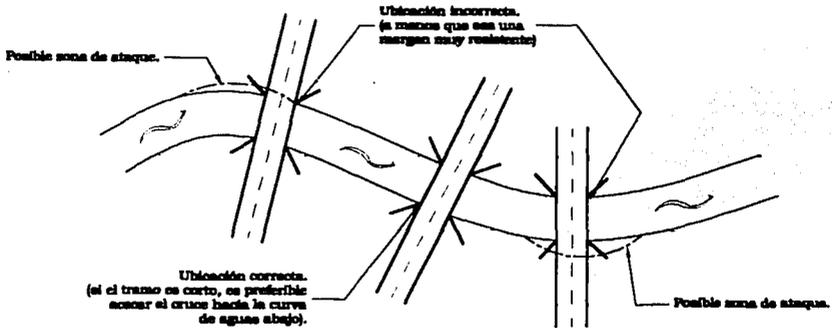
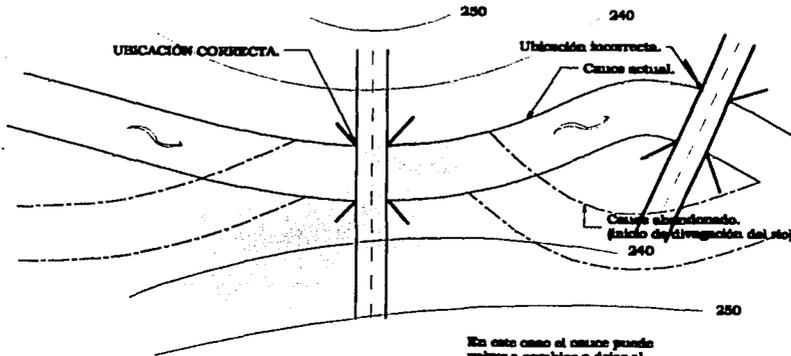


Fig. 4.3.1

- b.2) Sección de cruce estable, es decir que no sea propensa a sufrir erosiones laterales que hagan que el cauce cambie de ubicación.



En este caso el cauce puede volver a cambiar o dejar al puente en "seco"

Fig. 4.3.2

b.3) Tramo del río que no tenga desbordamiento o llanuras de inundación.

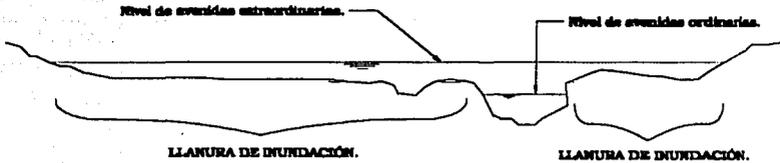


Fig. 4.3.3

b.4) Tramo con pendiente longitudinal uniforme, es decir, sin rápida ni remanso para que no se presentes erosiones o depósitos bajo de la estructura.

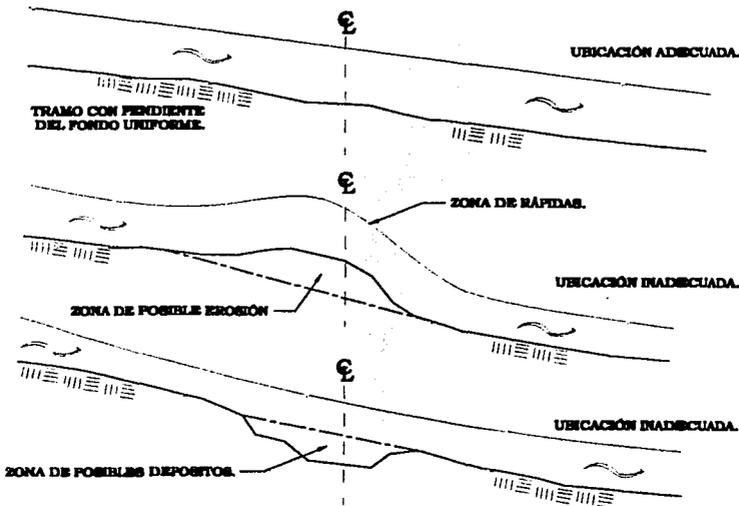


Fig. 4.3.4

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

En la medida en que estas condiciones no se cumplan los problemas del cruce aumentarán y podrá requerir de obras complementarias (de defensa o encauzamiento), que harán que los costos de la estructura aumenten.

- c) **Aspecto topográfico.** Con relación al aspecto topográfico, la ubicación del puente debe ser al que el volumen de cortes y terraplenes sea el mínimo posible, con lo cual se busca lograr un menor costo de construcción; así mismo convendrá observar que las características geométricas sean las adecuadas para asegurar el buen funcionamiento de la carretera.

Cuando se cruza una corriente pequeña será necesaria una obra menor y el cruce comúnmente estará definido por el trazo general del camino requiriéndose a veces sólo pequeñas modificaciones locales para mejorar algunos cruces en particular. Esto es diferente cuando se trata de cruzar una corriente importante ya que el costo de la estructura probablemente será elevado en comparación con el costo del camino por lo que se deberá buscar el sitio de la corriente en donde la obra resulte más económica haciendo necesario, para lograr esto, un análisis de costos de construcción y conservación entre las alternativas que puedan plantearse para el cruce.

Los factores a tomar en cuenta son los siguientes:

- c.1) El cruce no debe obligar a que el camino se proyecte con curvas horizontales de entrada y salida que sean muy forzadas.

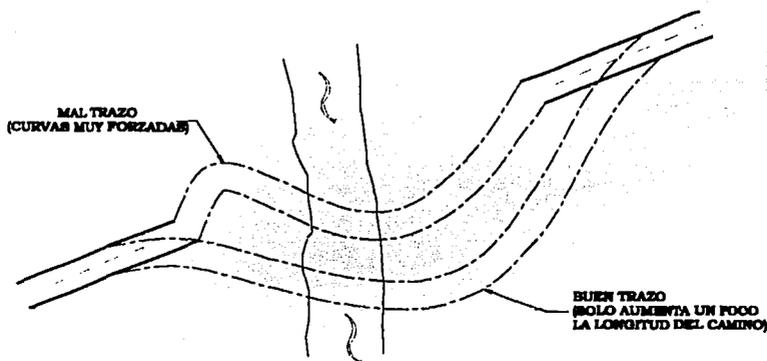


Fig. 4.3.5

El mejorar el alineamiento puede requerir mayores longitudes de camino y por tanto mayores costos. Sin embargo, si estos costos no son excesivamente mayores que los del trazo original deberá preferirse el que mejora el alineamiento.

Es recomendable que la carretera cruce en forma perpendicular al río ya que esto reduce la longitud del puente cuyo costo es más elevado, sin embargo no se debe descartar el análisis de obras esviajadas con las que se puede lograr mejores trazos y menores longitudes de camino.

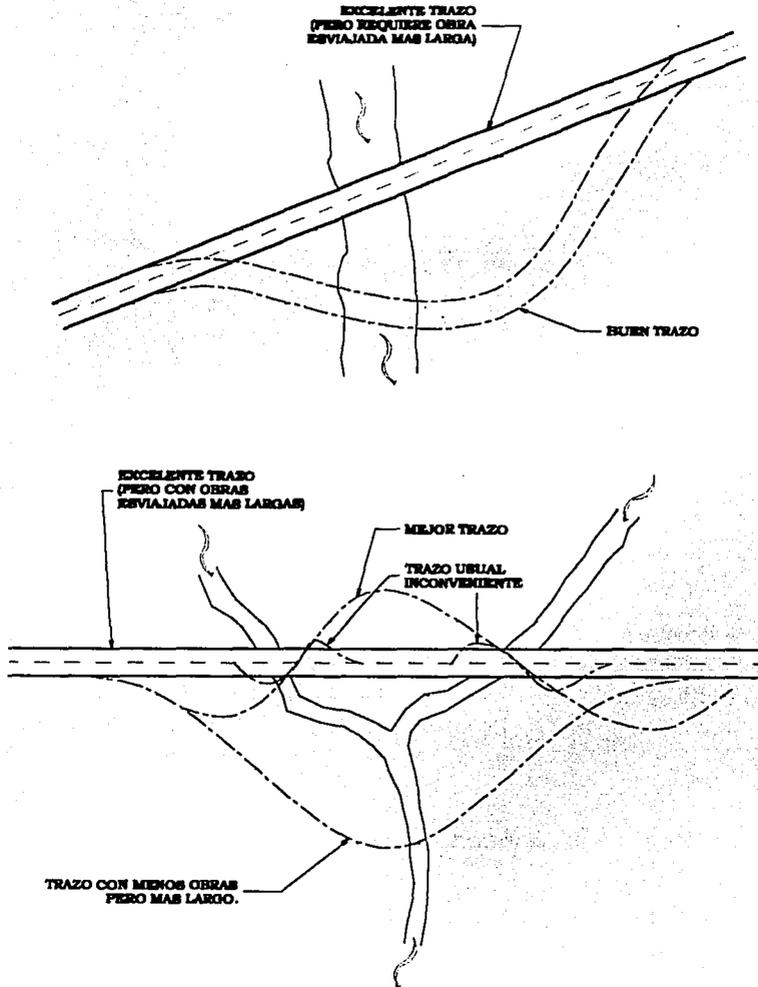
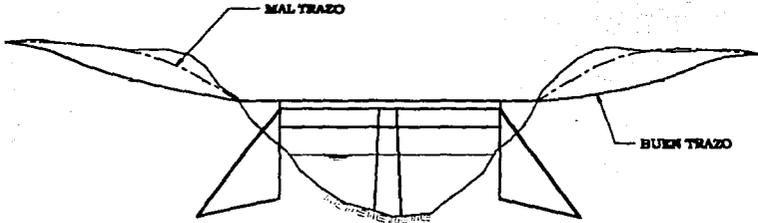


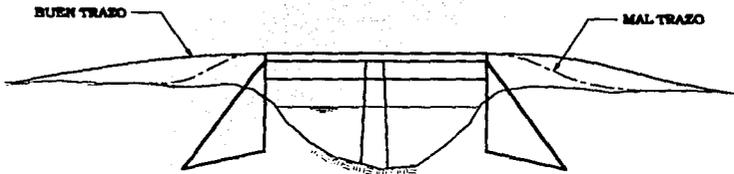
Fig. 4.3.6

- c.2) El cruce no debe obligar a que el camino se proyecte con curvas verticales de entrada y salida que sean muy forzadas.



**ALINEAMIENTO VERTICAL.**

Fig. 4.3.7



**ESTRUCTURA ALTA PARA PERMITIR  
EL PASO DE CUERPOS FLOTANTES.**

Fig. 4.3.8

TESIS QUE  
FALLA DE ORIGEN

- c.3) El cruce debe ubicarse en forma tal que permita al camino conservar en lo posible el alineamiento tanto horizontal como vertical que predomine en los tramos de acceso a la obra.
- c.4) Sección transversal del río angosta, tratando de que la longitud de la obra sea la menor posible.

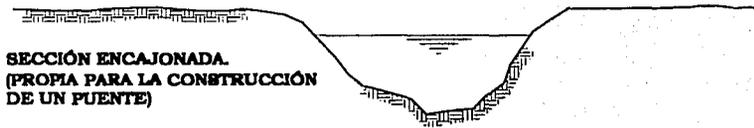


Fig. 4.3.9

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

- c.5) Sección transversal tal que la obra no sea demasiado alta, para así disminuir el costo de los apoyos.
- c.6) Ubicación tal que no requiera de terraplenes o cortes excesivamente grandes en los accesos a la obra.



Fig. 4.3.1  
Paso superior  
y entronque  
en autopista.  
Resultado de  
una buena  
elección del  
cruce.

- d) **Aspecto geológico.** El conocimiento de la geología de la zona del cruce es muy importante, ya que nos proporciona algunas características fundamentales a considerar en el proyecto de un puente como son: el nivel de socavación probable en el río, la erosión en las márgenes, la capacidad de carga del suelo, la estabilidad de las márgenes del río, la deformabilidad del suelo, etc., mediante los estudios de Mecánica de Suelos correspondientes.

Estas características determinarán algunos aspectos del puente tales como:

1. El sistema de cimentación: superficial, pilotes, cilindros, etc.
2. La longitud de los claros parciales del puente: a medida de que las pilas son más costosas por su cimentación, conviene emplear claros más grandes.
3. El tipo de superestructura, puesto que para diferentes claros conviene, en general, emplear diferentes superestructuras: traveses de concreto armado, de concreto preesforzado, de acero, armaduras metálicas, arcos de concreto, etc.

Por otra parte, las condiciones de cimentación pueden prestarse para usar superestructuras continuas o hacer recomendable el empleo de traveses o arcos isostáticos.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

La principal causa de fracaso de un puente es la socavación. En un puente, si el desplante de la subestructura (pilas, estribos, caballetes), no queda a salvo de la socavación, se producirá la falla de la estructura por esto mismo, y la pérdida total o parcial de la inversión. Si por desconocer la profundidad de la socavación, y teniendo sus efectos se profundiza exageradamente la cimentación, se hace una inversión innecesariamente grande.

Con esto, nos damos cuenta de la importancia que tiene la determinación de la profundidad de socavación, además, hay que considerar que en muchas ocasiones, la profundidad de socavación puede estar bien calculada, mas sin embargo, existen casos en que se producen avenidas extraordinarias, las cuales producen socavaciones no predecibles que de cualquier forma hacen fallar la subestructura, por eso mismo, no esta de mas, hacer todas las consideraciones necesarias para lograr una estructura funcional, resistente y por lo tanto que sea segura.

Los aspectos geológicos que deben tomarse en consideración para la elección del cruce son:

- d.1) Sección no socavable o que presente un mínimo de problemas de este tipo. Como guía tenemos:

| MATERIAL DEL FONDO | MATERIAL DEL FONDO |
|--------------------|--------------------|
| Arena              | Muy socavable      |
| Arcilla            | Socavable          |
| Roca               | No socavable       |

- d.2) Sección no erosionable lateralmente.
- d.3) Sección formada en materiales con capacidad de carga relativamente alta, para tratar de que la cimentación del puente sea superficial.
- d.4) Sección con afloramientos rocosos que permitan desplantar en ellos los apoyos. En el caso de presentarse afloramientos rocosos en los cuales no puedan desplantarse todos los apoyos, es conveniente no hacer cimentaciones mixtas para evitar asentamientos diferenciales considerables.

Cabe mencionar que el objeto de la presentación de estos factores es dar al ingeniero localizador un esquema general de los elementos a considerar para llegar a elegir el cruce que mejor equilibre estos factores.

Podemos concluir que para la determinación del lugar del cruce, en muchas ocasiones es necesario contar ya con todos los datos proporcionados por la exploración superficial, sobre todo en las conclusiones que nos proporcione el ingeniero geólogo, aunque lo ideal seria contar ya con el estudio completo de

Mecánica de Suelos, con la finalidad de hacer entonces una buena elección, para la ubicación más adecuada del puente.

De cualquier forma si es que el proyecto así lo requiere, si se ha elegido ya una posición para el sitio del cruce, y una vez que se cuente con el estudio de Mecánica de Suelos se concluye que dicha ubicación no es la más adecuada, si se esta en posibilidades, esta ubicación puede ser modificada, claro hay que tomar en cuenta otros aspectos para ver si es permisible, sobre todo el hecho de respetar el proyecto geométrico.

También se puede dar el caso en que ya con los estudios de Mecánica de Suelos, se obtenga que el sitio del cruce no es el mas adecuado, pero que sin embargo, no es posible hacer una reubicación, en estos casos, se debe de adoptar el sitio de cruce ya definido, y aplicar la ingeniería para lograr un proyecto funcional, que posiblemente pueda resultar mas costoso, pero que dadas las condiciones sea la única alternativa.

### 4.4 ESTUDIOS TOPOHIDRÁULICOS.

La definición de estudio toponidráulico en el ámbito de la Ingeniería de Puentes, es simplemente, la integración de la información topográfica e hidráulica.

Los estudios toponidráulicos constan de trabajos tanto de campo como de gabinete, y nos proporcionan los siguientes resultados:

- La planta topográfica general (en la actualidad se cuenta con plantas topográficas de toda la republica, las cuales son proporcionadas por el INEGI), la cual es útil para definir el posible funcionamiento hidráulico de la corriente, las tendencias erosivas de este, la presencia de curvas tanto aguas arriba como aguas abajo del que puedan afectar los accesos o estructura del puente, nos ayudan a precisar la localización del puente y la forma mas adecuada para los apoyos situados dentro del cauce.
- Los levantamientos nos proporcionan también una planta detallada, para que el proyectista estructural pueda ubicar los apoyos en planta y elevación, tomando siempre en consideración la topografía de las zonas de ladera.
- Nos proporcionan también un perfil de construcción que permite estudiar la rasante mas adecuada del puente, considerando el espacio libre vertical que recomiende el estudio, el peralte de la superestructura, las condiciones topográficas de los accesos a la obra y la rasante considerada en el proyecto geométrico.
- Un perfil detallado que se utiliza para describir la estratigrafía del subsuelo en etapas subsecuentes del estudio, este trabajo será cargo del ingeniero de cimentaciones.

- Un estudio hidráulico, este generalmente se realiza por el método de sección pendiente para determinar el nivel de aguas de diseño, el gasto hidráulico, la velocidad, su distribución en la sección del cruce, el comportamiento de diversas longitudes de puente, el cálculo de la sobreelevación que provoca el estrechamiento y las afectaciones a particulares que esto puede causar.
- También nos debe de presentar un informe general, que deberá incluir toda aquella información que no pueda ser obtenida de los planos, como puede ser, la presencia de preseas de almacenamiento aguas arriba o abajo, que altere el flujo normal del escurrimiento y un informe fotográfico que muestre aspectos relevantes del problema que se presenta.

#### 4.4.1 ASPECTOS IMPORTANTES.

Debido a la incertidumbre que en muchas ocasiones se presentan al momento de hacer la determinación del gasto con el método de sección pendiente, se debe realizar un estudio hidrológico, utilizando -para cuando se trate de cuencas pequeñas- métodos de lluvia-escurrimiento, considerando como cuencas pequeñas aquellas con áreas no mayores a los 25 km<sup>2</sup>, aunque se utilizan también con cuencas grandes, hay que tomar en cuenta que al incrementar el área se disminuye la confiabilidad del método.

En caso de que contemos con el apoyo de estaciones de aforo, especialmente en grandes cuencas, entonces será más recomendable hacer el uso de métodos estadísticos, ya que estos nos proporcionarán resultados mucho más confiables y reales para las necesidades que nosotros requerimos.

Si se nos presente un caso en el que tenemos una cuenca grande que no cuenta con estaciones de aforo, procedemos a analizar el cauce mediante métodos de comparación de cuencas ó estudios de carácter regional, con estos métodos, los resultados serán mas o menos confiables, dependiendo de la información que se tenga disponible.

En base al análisis de la información pluviográfica que existe en el país, y con la finalidad de facilitar los estudios hidrológicos de las cuencas, se han elaborado cartas de *isoyetas* para diferentes duraciones y periodos de retorno, estos son aplicables generalmente solo a cuencas pequeñas, aunque podrian servir de apoyo en el análisis de cuencas un poco mayores.

Los periodos de retorno que se consideran en México para los análisis de estudios hidrológicos van desde los 30 a 100 años, dependiendo de la magnitud e importancia de la obra de la cual se trate y del riesgo que se acepte que esta o sus accesos lleguen a fallar. El periodo de retorno mas frecuentemente usado para las obras de puentes, es el de 50 años, aunque en los últimos años se está implementando ya el uso de un periodo de retorno de 100 años.

El estudio topohidráulico nos debe proporcionar el gasto de diseño, este aspecto es de suma importancia, ya que este gasto es para el cual debe garantizarse la ausencia de daños en el cruce y las zonas de influencia aguas abajo y aguas arriba del puente.

En cuanto al gasto de diseño para la obra de puentes, este se elige indistintamente entre el obtenido por el estudio topohidráulico ó con el hidrológico, dependiendo del grado de confianza que se le considere cada uno de ellos.

El determinar el gasto de diseño tiene un efecto directo en el costo del puente y de sus obras de protección, ya que para cada gasto se requerirá una estructura que proporcione características de elevación, longitud y resistencias adecuadas para dicho gasto, así como obras de protección que resistan la socavación y otros aspectos de acuerdo a los efectos que produzca el paso del mismo.

Por lo tanto, un gasto de diseño muy grande traerá consigo mayores costos, pero también, una mayor certidumbre de que nuestra obra correrá menos riesgos de fallar; por el contrario, un gasto muy bajo nos generará menores costos iniciales pero un riesgo mayor a ser afectado por una avenida más grande, ocasionando costos de reparación y los derivados de la suspensión de la vialidad y posiblemente hasta los costos de una reconstrucción.

Finalmente, podemos concluir que el ingeniero proyectista es quien determinará el riesgo que esta dispuesto a correr de que al elegir el gasto de diseño, este sea excedido durante un lapso de tiempo en el que el puente estará en funcionamiento, buscando la relación entre riesgo y costo más conveniente a las características del caso en particular del que se trate.

Una vez definido el gasto de diseño, entonces ya puede afinarse la longitud de la obra y tomar decisiones finales como la elevación de la rasante y la necesidad de canalización o de protección y encauzamiento del afluente que quiera salvarse.

Como ya habíamos mencionado en el capítulo III, es importante investigar el comportamiento hidráulico de puentes cercanos al lugar, sus características y fecha de construcción, con la finalidad de aplicar lo que nos sirva en nuestro nuevo diseño.

El espacio libre vertical será determinado por el proyecto geométrico de la rasante, por las dimensiones de los cuerpos flotantes o por la tendencia de la corriente a depositar azolves en el cauce, información que también contiene el estudio topohidráulico. La separación mínima entre apoyos queda establecida por la elevación de la propia rasante, las condiciones del subsuelo y la presencia de los cuerpos flotantes.

#### 4.4.2 AREA HIDRÁULICA DEL PUENTE.

La determinación del área hidráulica del puente es un elemento esencial y de gran importancia dentro del proyecto de puentes, ya que es la base para la elección del tipo, y por lo tanto para el diseño, con la finalidad de lograr un proyecto, económico y confiable.

Para esto, es importante que el estudio topohidráulico halla sido hecho correctamente, para puedan ser confiables, ya que los resultados que nos proporcione serán utilizados para el anteproyecto del puente.

La sección hidráulica será la sección sobre la cual trabajen para los especialistas en Mecánica de Suelos, los proyectistas, de ahí la importancia de que los estudios, por lo que el informe debe de ser lo mas completo posible e incluir toda la información necesaria para que los demás especialistas puedan trabajar.

Estos estudios deberán contener los siguientes elementos para considerarlos como completos:

##### *INFORMACIÓN SOBRE EL SITIO.*

1. Mapas secciones transversales de la corriente y fotografías aéreas.
2. Información completa sobre los puentes ya existentes, incluyendo fechas de construcción y su comportamiento durante las avenidas registradas.
3. Niveles de aguas máximas extraordinarias (NAME), así como las fechas en que ocurrieron.
4. Datos sobre hielos, materiales flotantes, y estabilidad del cauce. (Se debe de establecer si es un cauce navegable y el tipo de embarcaciones que lo transitan).
5. Factores que afecten el nivel de las aguas, como son las avenidas procedentes de otras corrientes, embalses, remansos y obras para el control de avenidas y mareas.

##### *RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS HIDROLÓGICOS.*

1. Recopilación de datos sobre avenidas, que permitan estimar el gasto máximo en el cruce, incluyendo tanto las avenidas máximas registradas como las conocidas históricamente.

2. Determinación de la curva avenida-frecuencia correspondiente al sitio en estudio.
3. Determinación de la distribución del gasto y de las velocidades en el cruce, para considerar el gasto de las avenidas en el proyecto de la estructura.
4. Obtención de la curva tirante-gasto en el cruce.

### RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS HIDRÁULICOS.

1. Estimación de remansos y cálculo de velocidades medias en el sitio, para diferentes longitudes tentativas del puente y evaluación de gastos.
2. Estimación de la profundidad de *socavación* en las pilas y estribos de las estructuras propuestas.

Esta información es la que se requiere para que un estudio o informe se considere completo, de acuerdo a las Normas Técnicas para el Proyecto de Puentes Carreteros.

Generalmente, el área hidráulica para el proyecto de un puente, se determina para una avenida de proyecto cuya magnitud y frecuencia se relaciona con el tipo e importancia de la carretera para la cual formará parte el puente. Para la elección de dicha área deberán considerarse los remansos aguas arriba, el paso de hielos (si fuera el caso), el tipo y tamaño de los cuerpos flotantes (incluyendo los posibles cuerpos de navegación), y la posible socavación que pueda generarse en la cimentación del puente.

Cuando es factible que puedan ocurrir avenidas que excedan a la avenida de proyecto, o cuando las avenidas máximas puedan ocasionar grandes daños a las propiedades vecinas o bien originar la pérdida de una estructura costosa, se justifica entonces el hecho de considerar una área hidráulica mayor que la necesaria. Para este caso, las normas señalan que deberá tomarse en cuenta las disposiciones de las autoridades locales, estatales y federales sobre la materia.

Sin embargo, hay que tomar en cuenta que no siempre será factible diseñar con áreas hidráulicas muy grandes, ya que la estructura resultaría muy costosa, tal vez muy sobrada para un efecto natural que bien no pudiera ocurrir durante la vida útil de la estructura, por lo que será necesario hacer todo un análisis para tomar la decisión final, pensando también en que no deberá ponerse en riesgo al usuario.



Fig. 4.4.2.1. Río Kanawha EE.UU. Muestra Panorámica del Area Hidráulica de un Puente

Cuando sea necesario reducir al mínimo los efectos desfavorables de gastos adversos (muy grandes) se deben construir estructuras de desfogue, espolones, desviadores de materiales flotantes y obras de encauzamiento.

Cuando la probabilidad de que ocurran socavaciones sea considerable, se debe de prever y por lo tanto asegurar pilas y estribos, ya que como hemos mencionado, el efecto de la socavación es una de las principales causas de falla de las estructuras (puentes).

De igual forma, los taludes de los terraplenes adyacentes a la estructura, están expuestos a erosiones, por lo que debemos protegerlos convenientemente, ya sea mediante zampeados, revestimientos flexibles, diques reguladores, espolones u otras obras adecuadas que deberán revisarse desde el proyecto para asegurar su buen funcionamiento y evitarnos sorpresas posteriores.

Como una recomendación, podemos mencionar que es importante evitar en la manera en que sea posible la existencia de maleza y árboles en los taludes de los terraplenes de acceso inmediatos a la estructura, esto con la finalidad de evitar grandes velocidades y posibles socavaciones. De la misma manera se tendrá que tener cuidado en no permitir bancos de préstamos en sitios donde estos puedan incrementar las velocidades del afluente y por lo tanto originarnos socavaciones en la subestructura del puente.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

#### 4.4.3 ESTUDIO HIDROLÓGICO.

El estudio hidrológico para un puente tiene una carga de importancia muy grande, ya que este nos permitirá conocer los probables gastos que tendremos en el lugar del cruce, su frecuencia, y mas específicamente la determinación del gasto de diseño, es decir, aquel gasto para el cual debemos garantizar la ausencia de daños en el cruce y las zonas de influencia aguas abajo y aguas arriba. De acuerdo al gasto que se tenga de diseño, el puente y sus obras de protección tendrán un diseño específico que nos origine una estructura que proporcione características de elevación, longitud y resistencia adecuadas a este gasto, así como obras de protección a la socavación entre otros factores, que sean capaces de satisfacer y garantizar la seguridad y el buen funcionamiento de la estructura.

Para hacer el análisis hidráulico de una obra de drenaje, para el cual se utilizará el método de sección-pendiente, el cual nos proporcionará el gasto en crecientes máximas extraordinarias, es necesario que hagamos una investigación detallada de la elevación de las aguas máximas extraordinarias, mediante el recorrido en campo por las márgenes del escurrimiento buscando con criterio y cuidadosamente cualquier indicio o huella que permita indicar hasta que nivel llegan las aguas máximas extraordinarias; estas huellas se presentan físicamente como deslaves en las márgenes, lama o humedad en las orillas o en los árboles, depósitos de arena, basura y en general cualquier arrastre que quede sobre los árboles, etc., además por medio de encuestas también se puede comparar el nivel máximo de avenida del escurrimiento.

Este procedimiento se debe realizar tanto aguas arriba como aguas abajo en un tramo factible de donde estará ubicada la obra. Si fuera el caso en que el cauce esté seco, se puede realizar el trazo de una poligonal abierta por el fondo del cauce hacia aguas arriba y aguas abajo, debiendo ser su origen el centro de línea del cruce en estudio, este trazo se tratará de hacer por el centro del cauce, tomando los puntos más bajos de cada sección, es decir, se buscará el canal principal del escurrimiento con sus puntos de inflexión respectivos para cada formación de meandros.

Cabe mencionar que suele apoyarse en estudios fotográficos para tener una mejor perspectiva del comportamiento del escurrimiento, además de que nos puede ayudar para identificar cualquier detalle que se nos pudiera haber escapado.

Finalmente con todos los datos obtenidos en el campo se procede a realizar los números correspondientes, para presentarlos ya en un informe general. Es una parte importante del estudio, ya que de este dependerán muchas tomas de decisiones posteriormente, por lo que debe ser un trabajo, que sea afinado y sobre todo, realizado conscientemente ya que con los planos que presenten de la sección hidráulica se llevarán a cabo todos los análisis de las áreas de diseño posteriores, desde el de proyecto geométrico hasta el de cálculo estructural.

El dibujo del perfil del fondo del cauce debe ser dibujado a una escala horizontal de 1:1000, y vertical de 1:100, o bien se buscará una escala en la cual el dibujo no ocupe en sentido horizontal más de 1.50m de longitud.

Para las secciones hidráulicas se deben usar escalas 1:100 horizontal y vertical para longitudes pequeñas, 1:200 horizontal y vertical para longitudes de hasta 150m y 1:500 para longitudes mayores a esta, tanto horizontal como vertical.

De este perfil dibujado del fondo del cauce, obtendremos el perfil medio del fondo del cauce, llamado también pendiente geométrica. Esta la encontraremos apoyándonos en por lo menos dos de las cotas del perfil del fondo del cauce de tal manera que al unir las mediante una recta, esta sea aproximadamente la media de todas las cotas del perfil.

En este plano del perfil, deberán estar indicados todos los niveles de agua investigados, los cuales servirán de base para encontrar el perfil medio de la superficie del agua en avenidas máximas extraordinarias, el cual es conocido también como pendiente hidráulica. Esta la encontraremos apoyándonos por lo menos en uno de los niveles, en el cual se traza una recta que sea la media de todos los niveles de aguas máximas extraordinarias y que a la vez sea paralela al perfil medio del fondo del cauce.

Cabe mencionar que existe un gran número de casos, en los cuales se tienen dos o más pendientes geométricas para un mismo estudio obligado por el perfil del fondo del cauce. Para estos casos se tiene el mismo número de pendientes hidráulicas y se deberá de considerar a cada una de ellas en el cálculo del gasto de cada sección hidráulica correspondiente.

En el dibujo del perfil deberá dejarse debidamente localizada a cada una de las secciones hidráulicas levantadas con su NAME calculado correspondiente; debiendo asignar a ellas un número de identificación que nos permita su fácil ubicación.

En la parte inferior del plano deberán colocarse las secciones hidráulicas con su identificación correspondiente y NAME calculados, indicándose la separación de tramos realizados en cada una de ellas, la cual se le asignará a los cálculos un determinado valor de "n" en función del estado en que se encuentre tanto en las márgenes como en el cauce del escurrimiento.

Todo reporte del estudio hidráulico, deberá contener finalmente, la tabla de cálculos hidráulicos llena, esta tabla es presentada por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, esta tabla contiene el cálculo de áreas y perímetros mojados y el método de sección pendiente.

Finalmente, destacamos que en algunas ocasiones, y con la finalidad de entregar un trabajo más completo, es recomendable apoyarse en un informe fotográfico que nos permita observar el trazo del eje del camino, origen y destino, sentido de la corriente, sección hidráulica, y niveles de agua en cada una de las tomas.

### 4.5 ESTUDIOS GEOTÉCNICOS.

Los estudios geotécnicos, representan un factor importantísimo para la parte del diseño o el anteproyecto de cualquier obra civil que piense llevarse a cabo, y aunque esta íntimamente relacionado con los estudios de Mecánica de Suelos, es importante separarlos un poco, ya que a partir de estos se realizarán los estudios de Mecánica de Suelos y Cimentación.

Los estudios geotécnicos también se apoyan en gran medida de los estudios topográficos, y como estos, también constan de dos partes, la primera que es la realizada en campo y una segunda llevada a cabo en gabinete, que es donde finalmente se obtienen los resultados y se realizan los informes. Los estudios geotécnicos generalmente son realizados por ingenieros especialistas en Mecánica de Suelos, aunque debemos destacar que sería importante que contaran con el apoyo de un ingeniero especialista en geotecnia o geología.

Finalmente, podemos decir que el objetivo de los estudios geotécnicos es el proporcionar todos los datos indispensables para que se lleven a cabo los estudios de Mecánica de Suelos, los cuales a su vez nos proporcionarán el tipo de cimentación, la profundidad de desplante, el procedimiento de construcción, el comportamiento esperado a largo plazo, tanto en cargas dinámicas como en cargas estáticas además de darnos de manera técnica el comportamiento de los terraplenes de acceso.

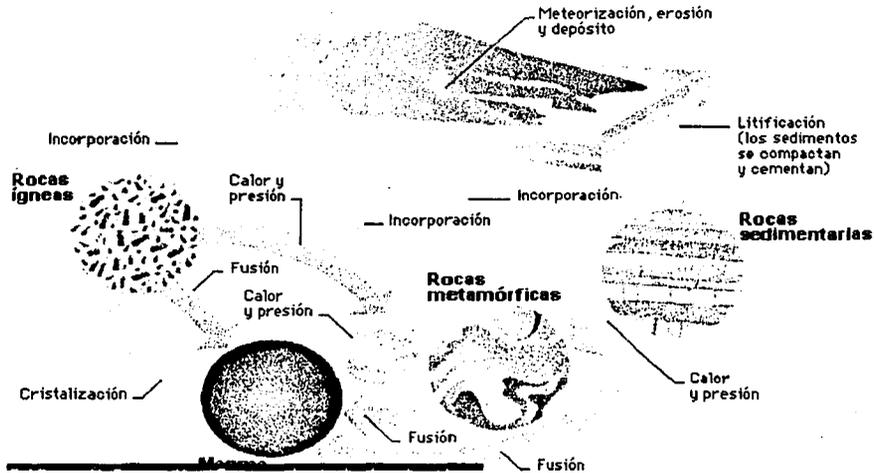
Podemos definir como geotecnia como una técnica de aplicación que involucra tanto a la Mecánica de Rocas como a la Mecánica de Suelos con la finalidad de predecir el comportamiento del terreno en donde se van a realizar las obras, ya sea apoyándose sobre este o en su interior, así también cuando el material es utilizado para la construcción de presas, pavimentos, terracerías, terraplenes o bien enrocamientos.

Desde el momento en que se hace la visita al sitio de la obra, se debe de ir planeando los tipos de sondeos que se van a realizar para el estudio geotécnico, sin embargo, la importancia de contar con un ingeniero especialista en geotecnia o geología, es que desde ese momento tendremos la oportunidad de identificar y establecer el tipo de suelo al que nos enfrentamos, por lo menos de manera superficial.

Es importante que el ingeniero geólogo nos acompañe en la visita, ya que él conoce las formaciones que pudiera presentar el sitio, su posible comportamiento, su origen y la posibilidad de conocer el tipo de material que posiblemente se encuentra debajo de las primeras formaciones, todo esto debido a su conocimiento sobre los procesos de formación de las rocas, sus divisiones y subdivisiones, además de que al identificar el tipo de roca, por la experiencia que se tiene, se puede predecir la capacidad de carga que dicho material nos puede proporcionar.

4.5.1 PROCESO DE FORMACIÓN DE LAS ROCAS.

Son tres procesos distintos los que intervienen en la formación de las rocas. A partir del conjunto de los minerales que forman las rocas, reunidos en diferentes proporciones, estos procesos se definen como **ígneos, sedimentarios, y metamórficos.**

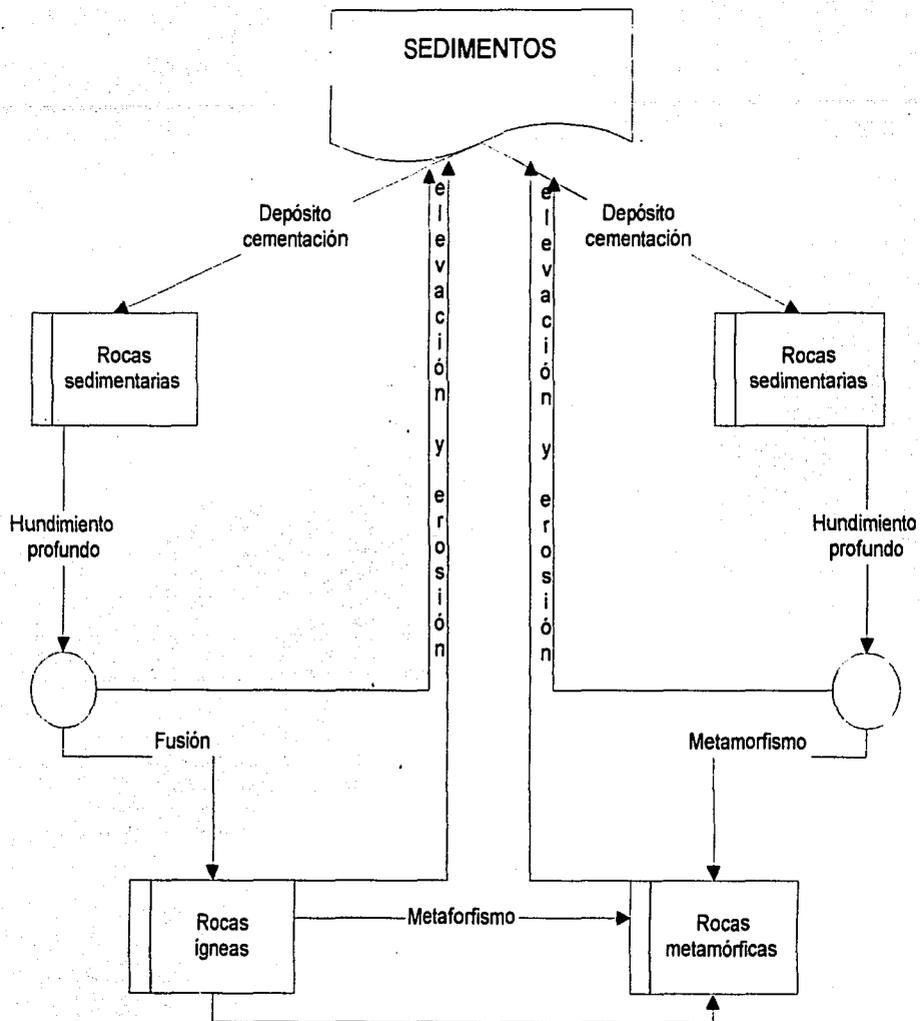


Las **rocas ígneas** son las que se originan debido a la cristalización del material fundido de silicatos en la corteza o bien en la superficie terrestre; arrojado ahí por la erupción volcánica. Esta roca fundida se conoce como **magma**, se forma en el interior de la corteza terrestre y en el manto superior por los mismos procesos que causan el levantamiento de la corteza terrestre y la formación de las cadenas montañosas, estas rocas son:

- a) Las rocas ígneas extrusivas.
- b) Las rocas ígneas intrusivas.

Algunos ejemplos de rocas ígneas extrusivas son las rocas piroclásticas como la toba volcánica, la brecha volcánica, la obsidiana, o las llamadas rocas de lava, como la riolita, la andesita, el granito, el basalto, etc.

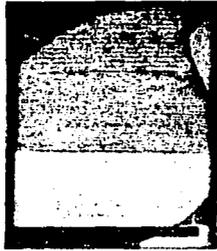
TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Obsidiana



Basalto

Ejemplo de algunas rocas.



Granito.

Algunos ejemplos de rocas ígneas intrusivas son la diorita, el gabro, los cuales son rocas granulares compuestas principalmente de plagioclasa y piroxena además de otros minerales ferro-magnesianos.

Las **rocas sedimentarias** son las que se forman bajo el agua, en mares y lagos y en depósitos de arena y polvo transportados por el viento. Estos sedimentos tienen cantidades variables de dos componentes:

- 1) El producto de la erosión transportada al mar por los ríos; se compone principalmente de cuarzo, arcilla, mica y otros fragmentos de roca.
- 2) Minerales precipitados a partir de soluciones en el agua, primordialmente carbonato de calcio y magnesio, sulfato y óxidos e hidróxidos de hierro y sílice en forma de cuarzo.

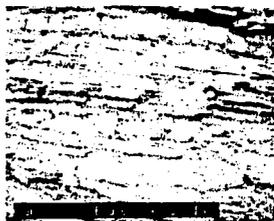
Debido a que son rocas que se forman por la sedimentación de diversos materiales, son rocas en las que físicamente se observa claramente los tipos diferentes de material que las forman, como ejemplo de estas están el conglomerado, la arenisca cementada, la roca caliza, entre otras.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA



Arenisca



Roca caliza

Las **rocas metamórficas** son las que han sido afectadas por el calor y la presión, después de haber sido rocas ígneas o sedimentarias, o inclusive una misma roca metamórfica.

Quando solo la presión ha sido el agente metamórfico, el proceso recibe el nombre de metamorfismo dinámico. Este proceso da origen a la a roca denominada pizarra.

Por otro lado, el metamorfismo térmico se produce por el calentamiento de la roca cercana a una intrusión ígnea que ha penetrado en la roca formada con anterioridad.

El metamorfismo dinamotermal, conocido como metamorfismo regional se debe a las altas temperaturas y presiones que actúan sobre la roca madre. Los minerales con frecuencia tienen forma plana o alargada, de tal manera que se acomodan fácilmente para ocupar menos espacio. Las rocas formadas de esta manera son los llamados "gneis ó esquistos".



EJEMPLOS:

En la fotografía se presentan las rocas metamórficas micasquisto, cuarcita y mármol.

Finalmente no queda mas que resaltar la importancia del conocer los tipos de roca, ya que al toparnos con alguna, de primera instancia podemos saber la posible resistencia que presenta o bien los posibles problemas que podría ocasionarnos si nos desplantamos en ella.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

#### 4.5.2 ORIGEN Y TIPOS DE SUELO.

En el tratado de este tema, hemos mencionado la importancia del conocer la geología, su aplicación a la geotecnia, y la manera en como influyen en los resultados finales o conclusiones.

De igual manera, al hacer la visita al sitio debemos tomar en cuenta que no siempre nos encontraremos en suelos rocosos o depósitos de rocas, si no que hay un sin número de tipos de suelo con características físicas y de comportamiento diferentes cada uno, y que dependiendo de dichas características será la manera de atacarlo (tipo de cimentación a usar).

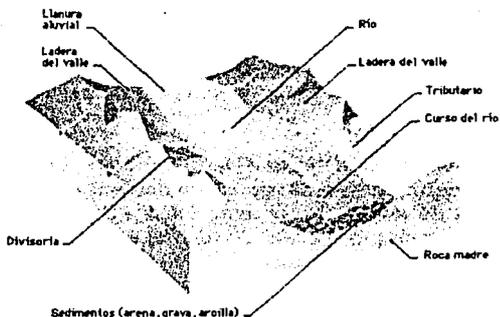
Existen diferentes tipos de suelo, los cuales se clasifican por la manera en que se formaron (su origen), o bien por el material del que están formados. a continuación mencionaremos los tipos de suelos existentes y sus características con la finalidad de que sea más fácil si reconocimiento cuando se esté en el sitio donde se llevará a cabo la obra.

1. **Suelos Residuales.** Son los suelos que son el producto de la meteorización de las rocas, su comportamiento es determinado por las propiedades de la roca que lo formó y del grado de descomposición. Los deslizamientos de la tierra son muy comunes en los suelos residuales, especialmente en los periodos de lluvia intensa.
2. **Suelos Transportados o Depositados.** Los suelos transportados son aquellos constituidos por el material removido del lugar de formación por agentes de intemperismo y redepositados en otra zona, generándose suelos que sobreyacen sobre otros estratos sin relación directa con ellos. Existen de diferentes tipos de acuerdo al agente externo de transporte que le dio origen.

2.a) **Suelos Transportados por Gravedad.** Todos los suelos están sujetos a ser transportados por gravedad al menos parcialmente.  
REPTACIÓN (creep).- Suelos residuales en áreas onduladas que tienden a moverse lentamente cuesta abajo.  
DERRUBIO (talus).- Acumulación de roca y escombros en la base de los frentes y taludes empinados.  
CORRIENTES DE FANGO.- Suelos residuales sueltos y arenosos. En pendientes ligeras, que se deslizan al saturarse.

2.b) **Suelos Aluviales.** El agua corriente es uno de los agentes más activos para el transporte del suelo, como agente transportador, mezcla suelos de diferentes orígenes, los selecciona y los deposita de acuerdo con el tamaño de los granos. Las partículas pequeñas son levantadas por la turbulencia y son llevadas aguas abajo con pequeños cambios físicos, mientras que las arenas, gravas y boleos ruedan por el lecho triturándose y redondeándose por abrasión.

Suelos aluviales.



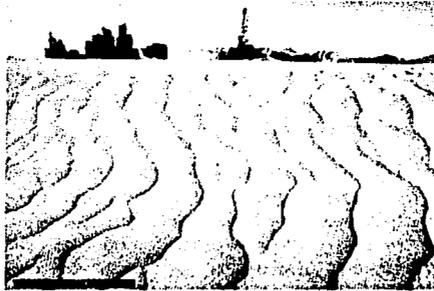
2.c) **Suelos Lacustres.** Los lagos son geológicamente, estanques temporales de agua suministrada por los ríos, manantiales y el derrame de los glaciares. Los lagos actúan como gigantes depósitos de sedimentación en los que se deposita la mayor parte de la materia que llevan en suspensión las corrientes que lo alimentan.



Suelos lacustres.

2.d) **Suelos eólicos.** Son los suelos transportados por el viento y varían desde lo que son dunas de arena hasta loess, que son depósitos de arena fina y limos. Generalmente tienen muy poca vegetación y los materiales que los forman son muy ricos en cuarzo y son poco densos. El principal problema que presentan los suelos eólicos es que son muy propensos a la erosión.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Suelos eólicos.

2.e) **Suelos Glaciales.** Son los suelos transportados por los glaciales, los cuales al aumentar la temperatura, se deshuelan y se forman estos depósitos de suelo de origen glacial. Los depósitos glaciales pueden variar en composición de tamaño de granos, desde grandes cantos hasta arcillas.

2.f) **Suelos Orgánicos.** Los suelos orgánicos como su nombre lo dice, están formados por materiales orgánicos los depósitos de turba o material orgánico que no se han descompuesto totalmente, debido a su alto contenido de agua, en ocasiones se encuentran estratificados con limos o arenas mezclados con arcillas.

Son materiales problemáticos en excavaciones por su muy baja resistencia al corte. Es común que fluyan en excavaciones o se licuen en sismos.

#### 4.5.3 ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS.

Por otro lado, existe también un comportamiento de los suelos, el cual merece un completo estudio para comprender exactamente el porque de su origen, su comportamiento, y la manera en que puede afectar a nuestra estructura en caso de que piense desplantarse sobre este.

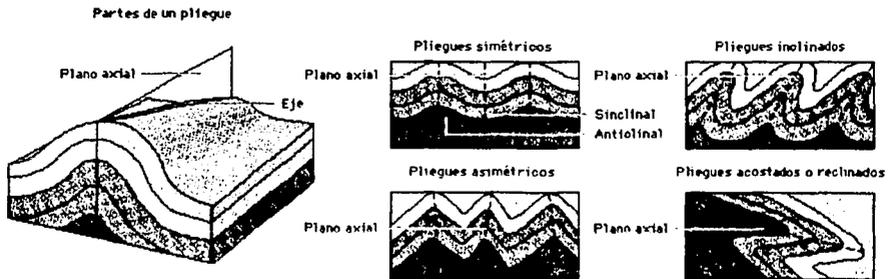
Las **estructuras geológicas** se emplean para describir un comportamiento particular de una formación rocosa, considerando las tres dimensiones en el plano.

Las estructuras principales están compuestas por un conjunto de otras pequeñas, las cuales han sido formadas por los procesos de sedimentación, intrusión magmática, deriva continental, así como por el ascenso y descenso de nivel de la superficie terrestre en diferentes lugares.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

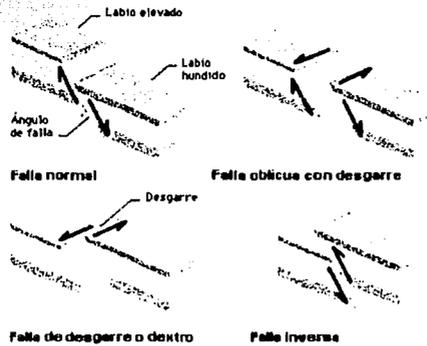
La unidad estructural fundamental de las rocas sedimentarias se denomina capa o estrato. Un grupo de tales capas se llama formación y a menudo esta compuesta de distintos tipos de roca, como son la lutita, arenisca y calizas. La palabra secuencia también se utiliza para designar un grupo de rocas que guarden una relación entre sí.

- 1) **BUZAMIENTO:** Es una de las estructuras geológicas fundamentales. Se define como el ángulo que forma con la horizontal la dirección de tal pendiente de la formación geológica, se debe de medir con respecto al norte. También es conocido como el "echado" se mide con un aparato llamado clisímetro, el cual se coloca sobre el plano de estratificación de un afloramiento de roca dura; con una brújula se mide el rumbo, que es la línea que forma un ángulo recto con la máxima pendiente de la capa de roca, también es la dirección de los bordes de la capa.
  
- 2) **PLIEGUES:** Las estructuras plegadas se deben a fuerzas de compresión dentro de la corteza terrestre generada por el movimiento lateral de los continentes, son provocados por los esfuerzos que van desde ligeros hasta muy fuertes cuando la intensidad es muy alta: las formaciones de roca se someten a esfuerzos superiores del límite elástico y se rompen, este proceso se llama fallamiento y también cuando las rocas se cizallan debido a la compresión dando origen al traslape.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

- 3) **FALLAS:** Cuando las rocas se pliegan por compresión, o bien cuando se estiran por tensión pueden soportar una cierta cantidad de distorsión, hasta que finalmente se rompen las grietas de las rocas. a estos rompimientos se les denomina "fallas".



Los 4 tipos de falla más importantes.

- 4) **DIACLASAS:** Las diaclasas son planos de debilidad en las rocas duras, también se pueden encontrar en rocas suaves muy comprimidas como la arcilla (arcilla consolidada).
- 5) **DISCORDANCIAS:** Una discordancia es una estructura geológica en la cual un conjunto de capas yace sobre los bordes inclinados de otro conjunto de capas.

Con esto, podemos darnos cuenta de toda la infinidad de posibilidades de estructuras que podemos encontrar en materiales rocosos principalmente, y sobre todo, podemos darnos cuenta de lo importante que es conocer su comportamiento.

Los parámetros que se utilizan para la descripción del material que forma la roca, son: especie petrológica, color, tamaño de grano, textura, dureza, densidad relativa, grado de intemperismo, resistencia, permeabilidad, velocidad sísmica, y modulo de elasticidad de la roca.

La masa rocosa se describe anotando las siguientes propiedades estructurales: discontinuidades, planos de estratificación en las rocas sedimentarias, laminación en otras, resistencia, modulo de deformación y velocidad sísmica.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## **4.6 ESTUDIOS DE MECÁNICA DE SUELOS Y CIMENTACIÓN.**

### **4.6.1 FINALIDAD DE LOS ESTUDIOS.**

Los estudios de Mecánica de Suelos tienen como finalidad el proporcionar al ingeniero proyectista el conocimiento de las características y posible comportamiento del suelo ante las solicitaciones a que estará sujeto durante la construcción y funcionamiento de la obra, para nuestro caso en particular, de nuestro puente.

Para el caso de puentes, se requiere responder a varias interrogantes como son, por una parte, la capacidad de carga y la magnitud de los asentamientos correspondientes a cada uno de los tipos de cimentación que se proponga y, por otra parte la socavación que ocasionará el flujo del agua de la avenida de diseño, lo que es necesario para determinar el nivel de desplante de los apoyos.

Con la finalidad de apreciar mas claramente las cosas planteadas necesitamos, inicialmente, conocer las propiedades significativas del suelo, por lo que es necesario hacer toda una serie de exploraciones, muestreos y pruebas de laboratorio que nos proporcionen resultados numéricos los cuales deberán ser interpretados por el ingeniero proyectista.

Se debe de contar con el auxilio de las teorías desarrolladas para el cálculo de esfuerzos, deformaciones y socavaciones con el fin de poder estimar estos para nuestro tipo de suelo, será criterio del especialista elegir los métodos o teoría a usar para el cálculo de los mismos.

Cabe mencionar que estas teorías consideran suelos ideales y que como excepción y no como regla se presentan casos en que el suelo se aproxima a la idealización, dando posibilidad a realizar cálculos bajo bases matemáticas.

Para los demás casos, la investigación del suelo solo informa al ingeniero proyectista respecto de las características generales de los materiales subyacentes y de la posición dentro de ellos de fuentes potenciales de peligro, por lo que la experiencia, criterio y capacidad del ingeniero para detectar y estimar los efectos de dichas fuentes de peligro, serán la base para un diseño racional y satisfactorio de la cimentación de la obra.

De tal manera que podemos concluir que dependiendo del conocimiento de la estratigrafía del suelo, del conocer las propiedades hidráulicas del subsuelo, del determinar las propiedades mecánicas de los suelos y rocas, además de la buena obtención de la información preliminar que nos proporcionen las etapas de exploración, así como de la investigación a detalle que se haga del lugar donde se llevará a cabo la obra, se realizará la mejor elección del tipo de cimentación para el caso en particular que se nos presente, y de ahí la seriedad conque deberán de realizarse cada una de estas etapas tanto de exploración como de investigación, ya que la responsabilidad que conllevan es mucha.

#### 4.6.2 ESTUDIOS DE CIMENTACIÓN.

Para llevar a cabo los estudios de cimentación es importante tener ya los resultados de los estudios o inspección geotécnica del sitio del cruce con la finalidad de definir las deformaciones geológicas existentes en la zona, su compacidad o consistencia, su alteración o fracturamiento, rumbos y echados de mantos rocosos, movimiento de laderas incluyendo su clasificación, analizando la conveniencia de realizar estudios geofísicos, el drenaje de la zona, la inspección a cortes, barrancas o pozos cercanos que permitan un conocimiento preliminar del subsuelo, la potencia de los estratos, etc.

Se programa, también, el tipo de exploración el número y profundidad probable de los sondeos a realizar, teniendo siempre presente la longitud estimada del puente, la probable elevación de la rasante, la longitud y el número estimado de claros. Cabe mencionar que debe de considerarse las características de los materiales del subsuelo, los problemas que pudieran plantear los cortes o terraplenes de acceso, las laderas inestables o los taludes de las excavaciones, en el caso de las cimentaciones de grandes puentes.

El echo de contar con la información anterior nos permitirá prever los problemas que planteará la cimentación de la estructura y nos dará una idea preliminar de las diferentes alternativas de solución.

Resulta importante destacar que el tener una investigación geotécnica completa será muy útil en el estudio de cimentaciones, ya que nos define las fronteras entre los estratos a lo largo del eje del puente, en el ancho conveniente, conocer el probable grado de alteración y fracturamiento de los mantos rocosos, la posible presencia de grietas o cavernas, continuidad de las formaciones a profundidades mayores a las alcanzadas con los métodos directos, los cuales incrementan mucho su costo cuando se pretende llegar a profundidades importantes y para complementar la información que estos proporcionan, reduciendo su número y proporcionando una ayuda valiosa en el análisis de estabilidad de laderas del cauce.

Por otro lado, también ayudan a tomar decisiones sobre la necesidad de realizar estudios complementarios o buscar alternativas de solución. Resulta importante calibrar la información geotécnica con los estudios geológicos y con los sondeos realizados por métodos directos. En nuestro país se han empleado para el estudio de cimentaciones de puentes los métodos sísmicos de refracción y reflexión y el de resistividad eléctrica.

Debemos considerar que si la cimentación es a base de zapatas y éstas son de grandes dimensiones y las características del subsuelo así lo ameritan, resulta conveniente realizar estudios geofísicos de detalle en el área de apoyo, para asegurar su estabilidad. Cuando se utilizan ensayos con el método Up-Hole ó similar, es posible conocer, también, el modulo elástico de las formaciones a diferentes profundidades, dentro de sondeos previamente programados.

Los métodos directos de exploración nos permiten obtener muestras para ensayar en el laboratorio y determinar ahí las propiedades de los suelos. Se utilizan pozos a cielo abierto cuando los estratos que ofrecen una resistencia adecuada para apoyar la cimentación del puente se localizan a poca profundidad. En caso de que estos estén profundos, los métodos más empleados son el de penetración estándar para el caso de los suelos arenosos o la obtención de muestras inalteradas en tubos de pared delgada, tipo Shelby, para estratos blandos, arcillosos o limosos; o bien si son suelos de consistencia dura, se utilizan muestreadores tipo Hvorslev.

Tubo tipo Shelby

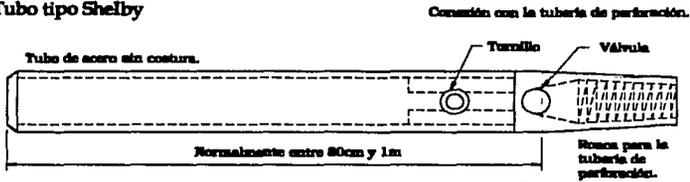


Fig. 4.6.21

Quando es necesario atravesar mantos de boleos o gravas para buscar estratos de apoyo mas profundos o explorar mantos rocosos, se utilizan procedimientos de tipo rotatorio, empleando brocas de diamante o carburo de tungsteno dependiendo de la dureza de la roca. o brocas tricónicas, estas últimas, para perforar los estratos de gravas y boleos.

Muestreador para broca de diamantes

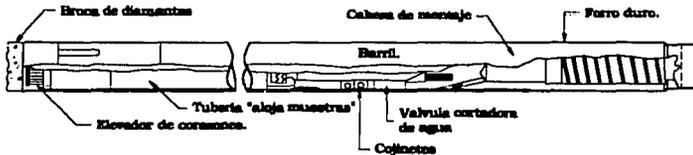


Fig. 4.6.22

Estos métodos directos de perforación, nos permiten obtener muestras inalteradas que son sometidas en el laboratorio a ensayos para conocer su peso volumétrico en estado natural y a pruebas de resistencia (triaxiales, de compresión simple, etc.) y compresibilidad (consolidación estándar), para determinar la capacidad de carga del suelo y sus asentamientos, bajo la acción de las cargas. Tanto las muestras inalteradas como las alteradas, se someten a pruebas de clasificación determinando sus características granulométricas y límites de consistencia, también se debe de obtener su humedad natural y su peso específico relativo.

| <b>PRUEBAS DE LABORATORIO</b> |   |
|-------------------------------|---|
| <b>Propiedades Índice</b>     | <b>Propiedades Mecánicas</b>  |
| a) Granulometría.             | a) Resistencia al esfuerzo cortante.<br>- Compresión simple<br>- Compresión triaxial (UU) |
| b) Contenido de agua.         |   |
| c) Límites de consistencia.   | b) Deformabilidad.  |
| d) Densidad de sólidos.       | - Consolidación.  |
| e) Peso volumétrico.          |   |

Otro método que resulta conveniente para conocer las propiedades del subsuelo es el cono eléctrico, que permite, calibrando con unos cuantos sondeos continuos inalterados, conocer con gran precisión la variación de la resistencia del suelo con la profundidad, difícil de obtener con otros procedimientos. Otras ventajas son la rapidez en la ejecución del sondeo y la disminución del número de sondeos continuos y de un gran número de pruebas de laboratorio.

Los presiómetros también son de gran utilidad, porque permiten conocer la variación del módulo de elasticidad de las formaciones con la profundidad, lo que permite definir sus características de resistencia y la relación esfuerzo-deformación con mayor rapidez y a menores costos.

Una vez concluidos los estudios de campo y trabajos de laboratorio, el ingeniero en cimentaciones reúne toda esa información, elabora el perfil estratigráfico del subsuelo en la zona donde se ubicara la estructura y realiza los análisis procedentes para recomendar el tipo de cimentación, su profundidad de desplante y la capacidad de carga de trabajo que deberá asignarse al suelo en el sitio de cada apoyo, que puede ser la misma o tener variaciones importantes.

Se proporcionan al proyectista estructural dos o tres alternativas de cimentación, siempre que proceda, para que esté en posibilidad de elegir la que le resulte mas conveniente desde los puntos de vista de proyecto y construcción de la obra, considerando los problemas que pudiera causar el tirante del río o la presencia del nivel de aguas freáticas.

Se analizan también los hundimientos que sufrirá la estructura y sus terraplenes de acceso y su evolución en el tiempo. En caso de proponer que la estructura esté cimentada sobre pilotes que atraviesen un manto compresible, para apoyarse por punta en un estrato firme que ofrezca una resistencia adecuada, se analiza el efecto de los terraplenes de acceso al sobrecargar los pilotes de los apoyos extremos por fricción negativa, debido a la consolidación del manto compresible, a causa de su peso.

También, será necesario analizar las condiciones de estabilidad de los propios terraplenes, que en muchas ocasiones no son soportados por el terreno de cimentación, obligando a tomar medidas para evitar su falla, como, por ejemplo, utilizando materiales ligeros, construyendo bermas o aumentando la longitud de la estructura, para disminuir la altura de sus accesos.

Si el proyecto geométrico contempla cortes de gran altura, se analiza con todo cuidado su estabilidad y si son rocosos se realizan estudios con los criterios que proporciona la mecánica de rocas.

Aunque en todas las cimentaciones superficiales se recomiendan los taludes de la excavación, cuando ésta es muy profunda, como puede suceder en obras importantes, se analizan con más detalle, para determinar el estable, o los métodos más convenientes para lograrlo, como, por ejemplo, la utilización de procedimientos de anclaje.

Deberá estudiarse la estabilidad de las laderas naturales y la de los apoyos ubicados en ellas que deberán quedar a una distancia razonable de la ladera, para garantizar que no ocurra una falla de talud; para lograrlo, es necesario, en muchos casos, profundizar el desplante del apoyo, aunque también puede recurrirse a procedimientos de anclaje, que aunque es una buena solución, elevaría un tanto el costo de la obra, sin embargo, sobre todo en macizos rocosos esta solución nos resuelve muchos problemas, sin embargo, cuando en estos se detectan cavernas, es necesario recurrir a procedimientos que garanticen la seguridad de la estructura, como por ejemplo a su inyección con lechada de cemento y / o concreto, dependiendo del problema específico.

Si el desplante recomendado para una cimentación superficial queda bajo el nivel de aguas freáticas, es necesario, para su construcción, emplear procedimientos que conserven estanca la excavación, que pueden ser desde un bombeo de gasto moderado, en el caso de arcillas, hasta el empleo de taludes muy tendidos, con bombeo severo o la utilización de procedimientos para abatir el NAF, como los wellpoints.

En el caso de pasos a desnivel, deberá procurarse que la restante del camino inferior quede arriba del NAF; si esto no es posible, habrá que tomar medidas para evitar que el paso se inunde, como el empleo de membranas impermeables o cajones de cimentación, que además de tener las ventajas de una cimentación compensada, reducirán también la entrada de agua. También podrán utilizarse pozos de absorción, o estaciones de bombeo. Todas estas medidas deberán auxiliarse con las correspondientes de drenaje superficial, para evitar la entrada del agua de lluvia. Cuando el problema lo requiere las cimentaciones del puente también pueden ser total o parcialmente compensadas.

Cuando se recomiendan pilotes hincados a golpes, se estudia la conveniencia de construirlos de acero o de concreto, su longitud, el área de su sección y su manera fundamental de transmitir la carga al terreno de cimentación, por punta o por fricción, dando la correspondiente carga de trabajo que soportara cada pilote. También se proporciona información sobre el peso del martillo de hinca, en función del peso del pilote, la necesidad de chiflones y el procedimiento para su utilización la conveniencia de utilizaciones previas y sus dimensiones, el empleo de puntas de acero y su longitud y el criterio de rechazo, para pilotes apoyados en la punta. Además de las cargas permanentes y eventuales, deberá considerarse el efecto de las fuerzas horizontales del sismo empujes de accesos en apoyos extremos y fricción negativa, en su caso, efectos que pueden ser tomados en cuenta en cualquier tipo de cimentación.

Cada día, se utilizan más los pilotes de concreto colados en el lugar, que muchos ingenieros acostumbran llamar pilas debido a sus dimensiones. En este trabajo, se seguirán nombrando como pilotes, para no confundirlos con algunos apoyos de puente, que también se acostumbra a designar con el nombre de pilas. Han desplazado, el uso, a los pilotes precolados, por que evitan muchos de los problemas de la hinca y por la gran rapidez de su construcción. Los métodos de perforación son variados y, en la actualidad, existe maquinaria que puede atravesar mantos constituidos por acarreo gruesos de diámetros mayores de 0.80m. Los pilotes colados en el lugar, generalmente, se construyen de diámetro entre 1,0 y 2.0 m pudiendo ampliar su base, cuando ello sea necesario; se emplea principalmente trabajando por punta.

Además de su diámetro, profundidad de desplante y carga que puede soportar el pilote, es necesario indicar al proyectista el diámetro máximo de los acarreo gruesos, información decisiva para la elección del equipo de perforación; se recomienda también el procedimiento de ademado de la excavación,

En obras importantes de cimentaciones piloteadas, convendrá realizar pruebas de cargas dinámicas o estáticas, que también proporcionarán información sobre los hundimientos, si son de tipo estático y si los pilotes se apoyan en suelos de naturaleza friccionante.

Se utilizan también, con frecuencia, los cilindros o cajones de cimentación, que siempre son de concreto y que se construyen por el procedimiento del pozo Índio. Muchas veces, constituyen el único medio de atravesar mantos de acarreo de grandes dimensiones. Este tipo de cimentación siempre se recomienda para trabajar por punta, por lo que se le cuela un tapón al alcanzar su profundidad de desplante. La carga por fricción, en muchas ocasiones se desprecia, en razón de las grandes cargas que son capaces de tomar en la punta.

Se proporciona al proyectista la estructura el diámetro del cilindro, profundidad del desplante su carga de trabajo y el efecto de las fuerzas horizontales que ya se han mencionado.

Definidos los parámetros hidráulicos de la corriente, las características de los materiales del subsuelo y la forma y dimensiones de los apoyos, se calcula la socavación total que causará el escurrimiento, al presentarse el gasto de diseño.

Esta información es fundamental para que la cimentación quede a salvo del fenómeno y para valuar su capacidad de carga y el efecto de las fuerzas horizontales. Se estima que la mayor causa de falla de puentes es el fenómeno de socavación. Deberá considerarse, en su caso, la degradación del cause, que también puede ser causa de falla.

Cuando existen puentes vecinos a los que se proyecta, es importante averiguar su tipo de cimentación la profundidad de desplante y, de ser posible, su ancho.

Ya que como se mencionó anteriormente, el conocimiento del comportamiento de puentes cercanos nos podrá facilitar de gran manera el análisis de nuestro puente en estudio, ya que teniendo como experiencia al anterior puente, se evitará cometer los errores en que este halla caído, además de que se pueden tomar aspectos importantes de este que bien pudieran sernos muy útiles.

Como podemos observar, el estudio de cimentaciones es uno de los aspectos más importantes en el proyecto de puentes, y nos puede influir de manera definitiva en la elección del tipo de puente, ya que dependiendo del tipo de cimentación que nos arroje el estudio de mecánica de suelos, podría cambiarnos el tipo de superestructura que en un principio se tenía pensado.

El estudio de cimentaciones no solo es importante por la elección del tipo, ya que un error en una mala recomendación de la cimentación, o una mala elección en la profundidad de desplante, nos podría traer consigo un desastre de grandes magnitudes y poner en riesgo la vida de muchas personas.

### 4.7 ESTUDIOS DE PAVIMENTOS.

Se le denomina **pavimento** al conjunto de capas de materiales seleccionados estructurados de tal manera que reciban y resistan las cargas del tránsito y las transmitan adecuadamente distribuidas a las capas inferiores proporcionando una superficie de rodamiento para que el tránsito se efectúe en forma rápida y cómoda.

Es importante hacer un estudio adecuado de pavimentos, ya que existen varios tipos de estos, y aunque no influyen de manera directa en la elección del tipo, es un estudio necesario para todo proyecto de caminos. Generalmente el estudio de pavimentos se hace para el análisis de un nuevo camino a desarrollarse, pero no siempre se coloca el mismo tipo de pavimentos en la carretera y en las losas de acceso y en el mismo puente.

Para la construcción de un puente se busca un pavimento que de seguridad al usuario, un pavimento que evite derrapes, aún estando húmedo, esto debido a que un derrape dentro del puente es mucho más peligroso que un derrape en la carretera, por eso la importancia del estudio de pavimentos, además de que se ven involucrados otros muchos factores, como el clima en donde este ubicado el proyecto, la altitud y sobre todo el tipo de vehículos que darán uso al camino.

#### 4.7.1 CLASIFICACIÓN DE PAVIMENTOS.

Los pavimentos se clasifican en dos grupos principales importantes:

- a) **PAVIMENTO FLEXIBLE:** Su superficie de rodamiento es proporcionada por una superficie asfáltica, la cual se pliega a pequeñas deformaciones de las capas inferiores, sin falla estructural, trasmite los esfuerzos a las capas inferiores por medio de las características de cohesión y fricción de los materiales que integran el pavimento.
- b) **PAVIMENTO RIGIDO:** Es el pavimento cuya superficie de rodamiento está construida por una losa de concreto hidráulico que tiene una falla frágil. Los esfuerzos se transmiten y distribuyen en el total de su área comunicándolos a las losas adyacentes, de tal manera que llega a las capas inferiores con un valor ya muy pequeño, por lo que en teoría podría colocarse inmediatamente sobre la capa subrasante. Esto no se hace por el efecto del bombeo que consiste en la ascensión de finos plásticos debajo de las juntas de contracción, lo que puede provocar su falla, por lo que es necesario colocar una capa de sub-base, la cual generalmente se coloca con calidad de base hidráulica.

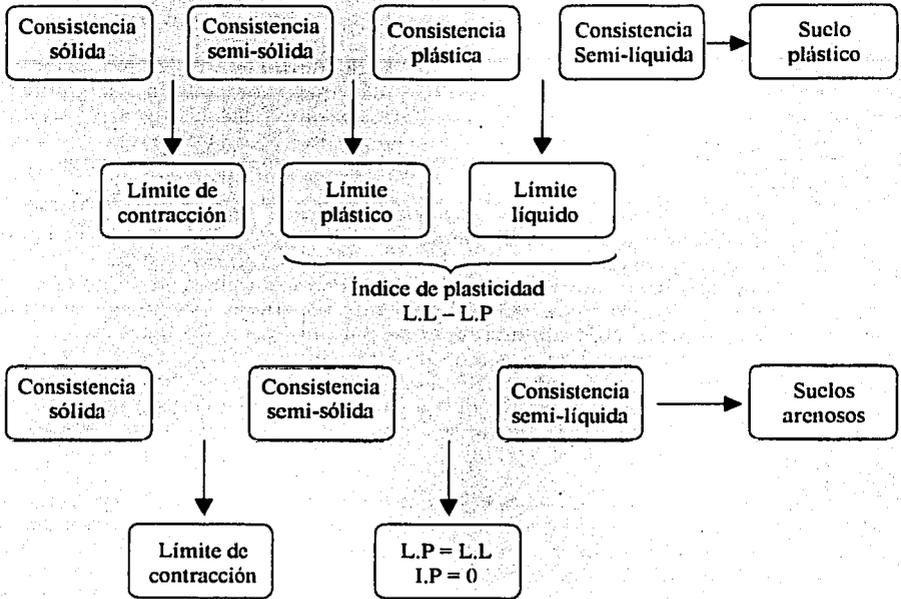
El pavimento concreto asfáltico, es elaborado con material pétreo y cemento asfáltico generalmente del No. 6 (chapopote) como a temperatura ambiente es sólido, es necesario calentarlo como a 140°C y el material pétreo como a 160°C por lo que solo es posible elaborarlo en planta. Su falla es frágil, similar a la del concreto hidráulico por lo que debe ir estabilizada con cal o cemento portland, los esfuerzos del tránsito se distribuyen por medio de las características de cohesión y fricción de los materiales de riego.

#### 4.7.2 CARACTERÍSTICAS Y PRUEBAS DE LOS MATERIALES

La plasticidad es una de las propiedades de las arcillas por medio de la cual cuando se somete a un esfuerzo se deforma sin desmoronarse, ni agrietarse, no presenta rebote elástico reteniendo la nueva forma una vez que cesa el esfuerzo aplicado sobre esta.

El termino arcilla se aplica a las partículas con un tamaño no mayor a 0.005mm y presentan las propiedades de ser plásticas. La plasticidad de las arcillas se debe a una partícula gelatinosa que rodea las partículas de arcilla y tiene una gran capacidad de absorber agua.

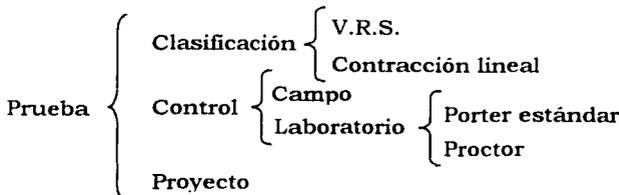
Un suelo tiene los siguientes estados de consistencia:



Los suelos con un alto índice de plasticidad son inestables en la construcción de pavimentos porque no tienen un comportamiento adecuado, ya que tiende a contraerse y agrietarse en época de estiaje, y en época de lluvias tiende a expandirse, debido a que las grietas facilitan la penetración de agua; estos cambios volumétricos se reflejan como severas deformaciones en la superficie de rodamiento.

Sin embargo, es importante que pese a todo, se realicen estudios y pruebas de laboratorio para los materiales que serán utilizados en la construcción de un camino, ya que en la época en que vivimos, la parte del control de calidad ha ido tomando mayor importancia.

Las pruebas se clasifican mas o menos en la siguiente forma:



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

La prueba de CONTRACCIÓN LÍNEAL, se lleva a cabo con la finalidad de conocer el comportamiento del material asfáltico a utilizar, y con ello predecir los problemas que se pudieran ocasionar una vez ya colocado y siendo utilizado por los vehículos.

Este tipo de pruebas se utilizan para elegir los materiales que formarán parte de la base y sub-base, en las carreteras, para el caso de puentes, también es una prueba muy utilizada, ya que los puentes no hacen estudios de terracerías, pero si de terraplenes que se colocan para los accesos. los cuales deben tener las calidades necesarias para que satisfagan con seguridad al proyecto.

De igual manera, la prueba PORTER ESTÁNDAR, es una prueba que se realiza con los mismos fines, la diferencia radica en que esta prueba proporciona resultados mas exactos y confiables, además de que nos proporciona mayor número de datos con los que podemos conocer mas el comportamiento de los materiales que vamos a utilizar.

Dentro del estudio de pavimentos, existen otros factores que deben de tomarse en cuenta, ya que estos influyen directamente en el comportamiento del mismo.

Por poner un ejemplo, los efectos del medio ambiente ocasionan cambios en el comportamiento de la estructura de pavimento, es principalmente la precipitación uno de los factores si no es que el principal que nos interesa, ya que además de afectar el pavimento, ya que el agua es un factor indeseable en la estructura del pavimento, debido a que le produce debilitamiento, ya que el efecto principal es el de separar los materiales, haciendo que la estructura se debilite y resiste menos esfuerzos hasta que finalmente esta falla.

Además cabe mencionar que el agua origina otros aspectos que son importantes, ya que produce un efecto en el pavimento, que al pasar los neumáticos sobre este, en muchas ocasiones producen derrapes de los vehículos ocasionando accidentes cuyas consecuencias pueden ser de grandes magnitudes.

Para un mejor análisis y conocimiento de los efectos que nos pueden ocasionar las precipitaciones en los caminos, nuestra republica esta dividida en tres zonas de precipitación, las cuales quedan definidas de la siguiente manera:

**ZONA I)** Baja precipitación pluvial y buen drenaje. Se refiere a las zonas desérticas y semidesérticas, con lluvias esporádicas a lo largo del año, su drenaje es a base de terrenos con pendientes mayores a 25° con suelos permeables (gravas y arenas). La profundidad del NAF generalmente se encuentra a un nivel mayor a los 5m.

**ZONA II)** Regular precipitación y regular drenaje. Son lugares con precipitación pluvial en épocas bien definidas a lo largo del año, su drenaje es a base de terrenos con pendientes de 10 a 25°. Sus suelos son semipermeables (arenas arcillosas o limosas). La profundidad del NAF se encuentra entre 1 y 5 m.

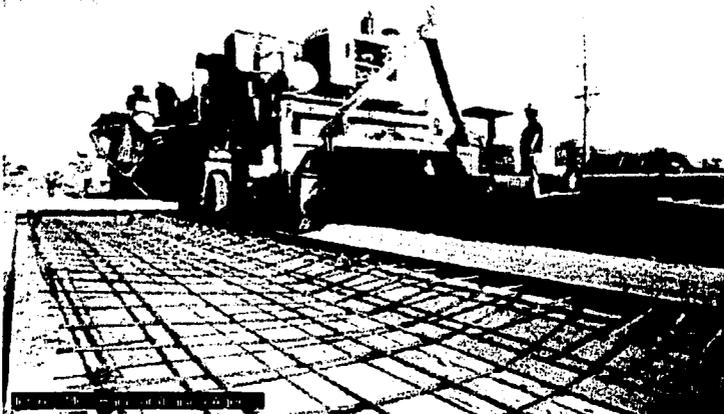
**ZONA III)** Alta precipitación pluvial y mal drenaje. Son zonas donde mas del 40% de los días del año llueve, tienen un mal drenaje debido a pendientes del terreno menores de 10°, sus suelos generalmente son impermeables (arcillas) y tienen una profundidad del NAF menor a un metro.

Por otro lado, la temperatura es otro aspecto importante que nos afecta en cuanto al comportamiento estructural de nuestro pavimento. En zonas de calor extremo (mas de 35°) el pavimento puede sufrir deformaciones debidas a los esfuerzos tangenciales de tránsito, denominado "arriñonamiento". Para este caso, nos conviene cambiar el tipo de cemento asfáltico del No. 6 por cemento asfáltico del No. 8 con esto estaremos evitando este problema. Por otro lado, en zonas de congelación y deshielo, el agua atrapada en las capas de pavimento, al congelarse se expande y rompe la estructura de la capa, y en los deshielos el agua hace que pierda la compactación, haciendo que esta falle. Para solucionar este problema, generalmente se opta por colocar capas rompedoras de capilaridad (grava y arena en greña) de 50cm aproximadamente.

#### 4.7.3 IMPORTANCIA DE LA INGENIERÍA DE PAVIMENTOS EN EL PROYECTO DE PUENTES.

El porque es importante la ingeniería de pavimentos en el proyecto de puentes es muy simple, y aunque los resultados del estudio de pavimentos no nos cambiarán el proyecto de una manera sustancial, es decir, no nos provocarán cambios significativos dentro del proyecto, sin embargo, es importante debido a que uno de los objetivos de los caminos, si no es que el mas importante, sobre todo cuando se trata de puentes, es el de permitir el paso de vehículos de un punto a otro, de manera rápida, cómoda y segura, y es aquí donde radica la importancia del estudio de pavimentos, ya que no hacer una buena elección del tipo de pavimento a utilizarse, hará que una vez que el proyecto este en funcionamiento, nos genere problemas constantemente, y por lo tanto no cumpla nuestro proyecto con el objetivo antes mencionado.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



La ingeniería de pavimentos, es un área joven dentro de la ingeniería, en nuestro país, el avance ha sido un tanto lento, debido a que las sustancias derivadas del petróleo con las cuales se fabrica el asfalto, son dominadas por la industria PEMEX.

Ha habido cambios, ya que en un principio el material utilizado para la pavimentación, era la emulsión asfáltica, la cual para su elaboración utilizaba un porcentaje de cromato, la cual es una sustancia venenosa para el ser humano, sin embargo aún en la actualidad, falta mucha tecnología para poder elaborar mas y mejores tipos de cemento asfáltico, que nos permitan tener pavimentos de mejores calidades y sobre todo pavimentos mas adecuados para cada lugar de acuerdo a sus condiciones climatológicas y urbanas.

#### 4.8 ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL.

En la actualidad, el problema de la contaminación ambiental se ha convertido en un tema cotidiano, ya que en nuestros tiempos es muy común escuchar hablar tanto en radio ó televisión o bien en las mismas platicas con nuestros vecinos de temas como la inversión térmica, el nivel de IMECAS, la capa de ozono, el desequilibrio ecológico, etc, cuando hace apenas algunos años estos temas solo eran tocados por científicos e ingenieros especialistas en la materia.

Por esta razón, sobre todo en las grandes ciudades, podemos darnos cuenta de que este tópico se ha convertido en un tema cotidiano, ya que esta cobrando conciencia no solo en científicos e investigadores, sino también en la población en general.

Es muy común escuchar que los ingenieros dedicados a la construcción somos los principales depredadores del medio ambiente, y esto hasta cierto punto podemos aceptar que es cierto, sin embargo las necesidades siguen existiendo y la construcción de obras que satisfagan esas necesidades no pueden detenerse, aunque si podemos tratar de evitar algunos otros aspectos que afectan al ambiente.

De acuerdo a la importancia que ha cobrado en los últimos años el tema de la contaminación de medio ambiente, a originado que en materia legal, actualmente se obligue a realizar un estudio de impacto ambiental siempre que valla a realizarse una obra nueva, esto con la finalidad de analizar ciertos parámetros que miden el nivel de afectación que se provocará al ambiente con la obra que pensamos construir, todo esto con la finalidad de tener un control de la contaminación y un mejoramiento de nuestro medio ambiente.

Es necesario decir de cualquier forma que toda obra que se construya originará cambios en el medio en donde halla sido levantada, y que es trabajo del estudio de impacto ambiental, analizar y verificar que esos cambios no sean perjudiciales al ambiente en un mayor grado, ya que de ser así, deberá corregirse el proyecto constructivo, y en casos extremos impedir la construcción de la obra de la cual se trate.

#### **4.8.1 EL IMPACTO AMBIENTAL Y LA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS Y PUENTES.**

El estudio de impacto ambiental, generalmente se lleva a cabo cuando se esta preparando el proyecto o diseño de un camino o carretera que piensa construirse, y es un estudio que debe de llevarse a la para con el proyecto, para que en caso de surgir alguna imposibilidad, se cheque en el momento sin que tengan que corregirse mas cosas del proyecto.

Estos estudios constan de un análisis de contaminación que pueda originar la obra durante su construcción y durante su periodo de funcionamiento, ya que se analizan todas las posibles consecuencias que esta podría causar durante el tiempo en que se proyecta que dicha obra estará en funcionamiento.

En el caso de construcción de caminos, se hacen los estudios sobre la contaminación del aire, y del suelo, para llevar a cabo dichos estudios, se cuentan con aparatos que miden los niveles de contaminación, se revisa el proyecto para revisar las zonas que se verán afectadas, si hay que cruzar un rio y colocar un puente entonces se revisará el proyecto del puente y además de los estudios anteriores, se llevará a cabo el estudio de contaminación del agua

Dentro de la contaminación del agua, dentro del informe, se discuten las causas principales de la contaminación que ocasionaria la construcción del puente por todas las obras que vallan a realizarse, si va desviarse el cruce o no, se va a represarse etc, y por lo tanto se analizan los efectos adversos que todas estas obras causarán, finalmente se mencionan los distintos parámetros y la normatividad mexicana de los mismos para determinar la calidad del agua.

Por otro lado, también se lleva a cabo un estudio de la contaminación que la obra puede ocasionar al aire, su relación con los parámetros meteorológicos y sus fuentes de emisión. En el informe se anotan y describen los contaminantes principales y sus efectos adversos al ambiente. Se mencionan los resultados y se comenta su relación con las normas mexicanas en cuanto a los distintos índices y criterios de la calidad del aire.

Finalmente, el estudio de la contaminación que la obra puede ocasionar en el suelo sobre el cual se llevará a cabo la construcción de la obra. Se analiza el proceso constructivo y los materiales que se utilizarán en la construcción, ya que existen sustancias contaminantes que pueden envenenar el suelo, sin embargo en las obras civiles, este aspecto no representa un problema serio, ya que generalmente no se contamina el suelo por la construcción de una obra.

Es importante remarcar, que en la actualidad, en el caso de la construcción de caminos, se toma mucho en cuenta que el paso del camino sea por zonas de tal manera que la deforestación sea la mínima posible, ya que existe por normatividad unos parámetros que controlarán la cantidad permisible de deforestación para la construcción de tal camino, la cual también toma en cuenta el tipo de camino que piense construirse, así como los poblados que habrá de unir, ya que estará en función de la importancia del camino.

En conclusión podemos decir que, para nuestro caso, el estudio de impacto ambiental, es de gran importancia, ya que los resultados presentados que nos presente, nos puede hacer modificar nuestro proyecto, ya que si los efectos adversos en el ambiente son mayores a los permitidos, tendremos que buscar otras opciones dentro del proyecto, de ahí la importancia de que los estudios de impacto ambiental se vayan realizando a la par con el proyecto, para que en dado caso que tenga que hacerse un cambio, este se haga con tiempo y sin necesidad de hacer cambios que modifiquen nuestro proyecto desde sus bases, ya que esto nos ahorrará tiempo y trabajo extraordinario a realizarse.



V) DEFINICIÓN DE  
LAS POSIBLES

ALTERNATIVAS.

Si lo puedes soñar,  
lo puedes lograr.

Walt Disney.



## V) DEFINICIÓN DE LAS POSIBLES ALTERNATIVAS.

### 5.1 ELEMENTOS QUE FORMAN LA ESTRUCTURA DE UN PUENTE.

Una estructura se compone de:

- Superestructura
- Subestructura
- Infraestructura
- Equipamiento
- Accesos
- Elementos de liga.

#### 5.1.1 SUPERESTRUCTURA.

Se le llama al elemento superior de unión apoyado en la subestructura y que sirve como superficie de tránsito o rodamiento.



**CORTE TRANSVERSAL DE UNA SUPERESTRUCTURA**

Clasificación de la superestructura por su tipo, dependiendo de los materiales con los que está construida:

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Superestructuras más usuales.**

**Concreto Reforzado:**

- Losa plana maciza
- Losa plana aligerada
- Losa nervurada
- Losa celular

**Concreto Presforzado:**

- Losa sobre trabes
- Losa celular o Losa "Sección Cajón"
- Losa de concreto sobre trabes "Tipo T o doble T"

**Acero Estructural:**

- Losa sobre trabes de acero
- Losa sobre armaduras de acero

En paso superior

En paso inferior

**Concreto reforzado.**

El concreto reforzado, se compone de acero de refuerzo de  $f_y = 4000 \text{ kg/cm}^2$  y concreto  $f_c = 250 \text{ kg/cm}^2$  (generalmente), cuya combinación permite resistir fuerzas a tensión y compresión que actúan en la superestructura.

La superestructura, en este caso, se compone de losa; que es un elemento estructural que se usa para disponer de superficies útiles horizontales como las cubiertas de los puentes cuyas acciones principales sobre la losa son cargas normales a su plano siendo sus dimensiones en planta relativamente grandes en comparación con su peralte.

La losa es el elemento más importante en las superestructuras de concreto reforzado, además, de incluir algunos de los elementos de liga y equipamiento menor, como; apoyos, juntas, drenes y goteras y por último, una capa de concreto asfáltico para la superficie de rodamiento.

La construcción de las losas requiere de obra falsa.

**Losa plana maciza.**- Este tipo de losa, desde el punto de vista estructural y económico, se recomienda usarla en claros de 8.00 a 14.00 m., se compone de bulbo y aleros, con diafragmas extremos que evitan el escurrimiento de la tierra en la subestructura. La losa se nivela en la parte inferior del bulbo con un zoclo (concreto reforzado) para facilitar su apoyo en la subestructura.

Los anchos totales varían de 8.00 m. Para una carga viva de HS-15 y 10.00 m. Para una carga viva de HS-20 como mínimo.

**Losa plana aligerada.**- Se recomienda en claros de 14.00 a 18.00 m.; este tipo de losa se compone de los mismos elementos que la losa anterior, pero se aligera por medio de tubos de cartón comprimido o ductos de plástico, cuyo diámetro varía según el peralte utilizado. Su aligeramiento permite hacer losas con peraltes mayores que en el caso anterior, que permiten claros mayores.

**Losa nervurada.**- Recomendada para claros de 15.00 a 28.00 m.; el empleo de nervaduras de peralte y números variables, permiten cubrir claros mayores a los anteriores, el peralte de la nervadura es del orden de 1/10 m. Del claro.

**Losa celular.**- Este tipo de losa se utiliza en claros de 24.00 a 50.00 m.; son ideales para tramos continuos. Las losas pueden ser de sección unicelular o multicelular, se les da ese nombre porque son de una sola pieza. Se conocen también con el nombre de losa sección cajón, por tener sección cerrada.

### **Concreto presforzado.**

El presfuerzo en las estructuras, se define como un artificio mediante el cual se provocan a un material esfuerzos internos, con anterioridad a la aplicación de cargas exteriores o simultáneas a éstas. Dichos esfuerzos internos pueden producirse antes de colado el concreto, lo que se conoce pretensado, o después de endurecido el concreto, alojando el acero en ductos, para posteriormente tensarlo una vez fraguado el concreto, llamado postensado.

Los preesfuerzos se utilizan cuando no se puede poner obra falsa, la losa se cuela apoyando la cimbra en las trabes; que son elementos estructurales sujetos a flexión y fuerzas cortantes, que soportan el peso de la losa y las cargas que ésta le transmite. En algunos casos se utilizan pre-losas, que facilitan el colado de la losa.

Cuando los claros son grandes y la separación entre las trabes es considerable se colocan diafragmas; tienen como función mantener en su lugar a las trabes, además de darles rigidez. Pueden ser intermedios o extremos; cuyas dimensiones son: El largo igual a la separación entre trabes, su altura un poco menor a la de las trabes y su ancho aproximadamente  $\frac{1}{4}$  de la altura.

Losa sobre traves (Tipo AASHTO III Y IV).- Se recomiendan cuando no sea posible utilizar obra falsa, además de la rapidez que le puedan dar a la construcción en los casos necesarios. Se recomiendan para claros de 16.00 a 32.00 m.

Las traves son prefabricadas y se colocan fácilmente con grúas y plumas de capacidad moderada, ya que su peso propio es reducido.

Losa celular o Losa "Sección cajón". - Este tipo de losa, se recomienda cuando no es posible utilizar cimbrado, debido a la gran altura de la superestructura, con respecto al nivel del terreno natural, la cual se puede utilizar en grandes claros.

Fig. 5.1.1.1  
Sección de un  
puente.



La losa de sección cajón (Fig. 5.1.1.1) es el tipo de construcción con trabe y patín, consiste en una trabe que forma el alma, una losa como patín superior y otra como patín inferior, se puede considerar a la losa como parte integral de la trabe, pero dependerá de su ancho efectivo como patín de una trabe, de acuerdo a las especificaciones para su diseño. Se presfuerzan en el lugar y se utilizan para grandes claros, apoyados o continuos.

c) Losa sobre traves "Tipo T ó doble T".- Por economía, conviene que se considere la losa como viga "T", es decir, una parte de la losa trabajará de conjunto con la trabe. En los claros de traves "T" que tengan longitud mayor de 12.00 m. Se pondrán diafragmas que se colocarán entre las traves en los puntos medios o del tercio del claro.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

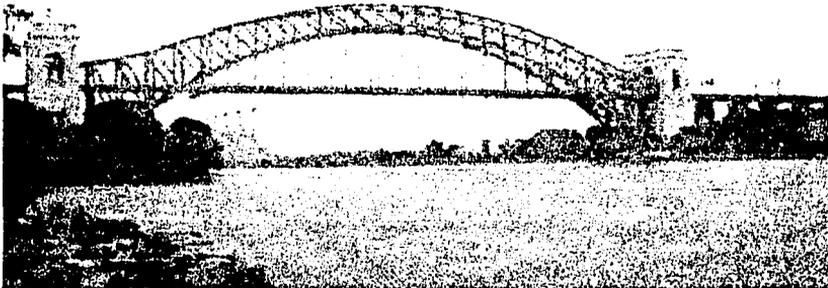
**Acero Estructural.**

El acero estructural se compone de perfiles de diversos tipos dependiendo de su resistencia, su función es similar a la de las traveses de concreto ya sea reforzadas o presforzadas.

a) Losa sobre traveses de acero.- Las traveses de acero son prefabricadas y se colocan fácilmente con grúas y plumas, el peso propio de las traveses es reducido. Recomendable en los casos en que no se puede poner obra falsa, la losa se cuelga apoyando la cimbra en las traveses.

También se le da el nombre de "Vigas compuestas", ya que se trata de estructuras compuestas de vigas de acero con losas de concreto, unidas por medio de conectores, para contrarrestar el esfuerzo cortante.

b) Losa sobre armaduras de acero de paso superior e inferior.- Se trata de pasos a través de acero estructural, recomendables cuando se tienen limitaciones de espacio libre vertical bajo la estructura. Se diseñan principalmente cuando se cruza una vía de ferrocarril.



Superestructuras especiales:

Que pueden ser arcos de concreto o acero, del tipo de marco rígido, etc.

**5.1.2 SUBESTRUCTURA.**

Se le llama al elemento que sirve de apoyo a la superestructura, el cual transmite las cargas uniformemente repartidas al cimiento o bien si es de una sola pieza, directamente al estrato firme del terreno natural.

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

## Capítulo 5

---

Los elementos más comunes que forman la subestructura de una estructura son:

### Apoyos extremos.-

- Estribos

Mampostería

Concreto ciclópeo

Concreto simple

Concreto reforzado

Tierra armada

- Caballetes

Concreto reforzado

Tierra armada

### Apoyos intermedios.-

- Caballetes intermedios

Concreto reforzado

- Pilas

Mampostería

Concreto ciclópeo

Concreto simple

Concreto reforzado

Tierra armada

### Apoyos extremos.-

Los apoyos extremos marcan la unión entre la superestructura y el camino. Los apoyos pueden ser caballetes o estribos; sus diferencias radican en el tipo de cimentación y las partes de las que se conforman, dependiendo de sus funciones.

**Estribos:** Los estribos se proyectan para resistir el empuje de la tierra, el peso propio del estribo y la superestructura, la carga viva sobre cualquier porción de la superestructura o terraplén de acceso, fuerzas debidas al viento, la fuerza longitudinal cuando los apoyos son fijos y las fuerzas longitudinales debidas a la fricción o al esfuerzo cortante que se desarrolla en los apoyos; en el proyecto se debe analizar cualquier combinación de estas fuerzas que puedan producir la condición más desfavorable de carga.

Los estribos generalmente se desplantan por superficie, se ha estudiado que es recomendable para una cimentación, estribos hasta de 12.00 m. de altura, cuando no sean de concreto reforzado.

Las partes de las que se componen los estribos son:

**Corona.-** Es una trabe transversal al sentido del eje de la carretera, que sirve para soportar los elementos de la superestructura, nivelando las cargas y transmitiéndolas uniformemente al cuerpo del estribo. Se hace de concreto reforzado y se forma a su vez de diafragma, topes y banco.

**Diafragma.-** Sirve para evitar que el terraplén de acceso invada la superficie de la superestructura, se separa de la losa por medio de una junta de dilatación que a su vez, evita la filtración de material perjudicial para ambos.

**Banco.-** Ayuda a nivelar la corona a la superestructura; se considera como una parte saliente de la corona y sirve de base a los apoyos. En caso de ser necesario permite que se pueda mover la losa introduciendo gatos entre la corona y la losa.

**Topes.-** Sirven para evitar que la losa o trabes tengan movimientos laterales.

**Cuerpo.-** Es el elemento que le da rigidez a la estructura, puede ser de mampostería, concreto ciclópeo, simple o estructural. Los estribos de los materiales antes mencionados menos el de concreto reforzado se les puede o no agregar una nariz que sirve para dar mayor rigidez, la zapata de cimentación en estos casos también forma parte del cuerpo.

**Aleros.-** Los muros del alero, que pueden ser de los materiales antes mencionados, serán de longitud suficiente para contener el terraplén de la terracería conformada hasta la distancia y grado que se juzgue conveniente y para proporcionar una protección contra la erosión o socavación.

Los estribos, también incluyen algunos de los elementos de liga y equipamiento menor. como:

**Los apoyos.-** Que se colocan en la superficie de los bancos, para evitar que se emplace el concreto de la superestructura con el concreto de la subestructura.

**Y drenaje.-** Para que el material que forma el terraplén en la parte posterior de los estribos se drene cuidadosamente, poniendo en el parámetro posterior del muro una capa de espesor apropiado de piedra quebrada o grava, del tamaño

## Capítulo 5

máximo adecuado y hasta la altura donde desembocan los agujeros que se habrán dejado en la mampostería o en el concreto para el escurrimiento del agua.

De acuerdo al material con el que están hechos presentarán ciertas características:

**Mampostería.-** Los estribos de mampostería tienen como altura máxima 12.00 m. y se usan cuando la resistencia del terreno sea de 2 a 4 kg/cm<sup>2</sup>. Se consideran estribos de gravedad, ya que sólo transmiten uniformemente las cargas al estrato resistente.

**Concreto ciclópeo.-** Se agrega concreto simple con piedra, para disminuir la cantidad de concreto. Necesita cimbra y sólo trabaja por gravedad.

**Concreto simple.-** Se usa cimbra, no lleva acero de refuerzo y trabaja por gravedad.

**Concreto reforzado.-** Se usa para soportar mayores cargas, dándole una mayor estabilidad al estribo para evitar que se voltee y /o deslice. Además de tener secciones esbeltas que reducen el espacio.

Sólo en este caso se puede utilizar cimentación profunda, como pilotes, cuando la resistencia del terreno sea menor a 2 Kg /cm<sup>2</sup>.

**Tierra armada.-** El estribo está construido por el suelo como matriz, con tiras metálicas como refuerzo y una cubierta alrededor denominada piel, así como, elementos accesibles, tales como, cornisas, zapatas, etc.,. El suelo de relleno es de tipo granular, para mayor efecto de fricción entre la armadura y el suelo y para tener menores presiones interaxiales al llenarse de agua en forma rápida, que originaría pérdida de valor en la resistencia al corte.

### Dimensionamiento de los estribos:

Existen ciertas medidas ya especificadas en el Manual de Proyecto Tipo de Elementos de Concreto Reforzado.

Para la corona se pueden tomar como ejemplo las vistas en el plano. Detalles del estribo.

En los casos de dimensionamiento del cuerpo y aleros, variarán los taludes, de acuerdo al tipo de material que se esté utilizando; generalmente los taludes se consideran de 1:10, variando algunas veces el talud posterior del cuerpo a 1:4. Estas dimensiones no son aplicables a los estribos de concreto reforzado ni tierra armada.

La geometría de los aleros se obtiene directamente del dibujo, es decir, en el mismo manual se especifica como deben de diseñarse.

Todas las dimensiones son propuestas y se ratificarán o se corregirán a través del cálculo posterior. Algunas dimensiones dadas son por razones constructivas, otras buscando un correcto funcionamiento estructural, unas basadas en experiencias y observaciones y las restantes, sustentadas en el sentido común.

**Caballetes:** Los caballetes se proyectan para resistir las mismas fuerzas que los estribos, salvo que no retienen el terraplén (derrame), por lo que los empujes los resisten las columnas o pilotes de los que se forma el cuerpo del caballete.

Su cimentación puede ser en cualquiera de las formas descritas: Por superficie o profundas; dependerá de la resistencia del terreno.

Los caballetes pueden ser de concreto reforzado, acero estructural o por el método de tierra armada; que permitirán alturas mayores a los 12.00 m.

Los caballetes constan de:

**Cabezal:** Que sustituye a la corona (por cuestiones de nomenclatura); se forma de diafragma, banco y topes.

**Cuerpo:** El cuerpo de los caballetes está constituido por columnas, y/o pilotes, dependiendo del tipo de cimentación requerida.

Cuando se desplanta por superficie, el cuerpo se compone de columnas; que podrían ser circulares o rectangulares, de zapata y cuando sea necesario de contra-trabe; que dan esbeltez a las columnas y reducen el tamaño de la zapata.

Cuando la cimentación es profunda los caballetes se hacen con pilotes o pilas coladas en sitio; que irán desde el cabezal hasta el estrato resistente u otro tipo de cimienta.

**Aleros:** Son de concreto reforzado y sólo se colocan en las partes laterales del cabezal, para evitar que el terraplén de acceso invada la superestructura.

También cuentan con elementos de liga, como; los apoyos y las juntas de dilatación.

**Dimensionamiento de los caballetes:**

**Cabezal:** Se utiliza el mismo criterio que en las coronas.

**Cuerpo:** De preferencia los caballetes serán lo suficientemente amplios en la base para evitar que se produzca una reacción negativa al quedar sometidos a la acción de las cargas laterales supuestas. En general, el ancho de un caballete en su base, no será menor de un tercio de su altura. El dimensionamiento de las columnas se da en base a las cargas estructurales que soportará.

**Aleros:** El talud de los aleros se considera de 1.5:1, que va desde la parte inferior del cabezal hasta la rasante del terraplén de acceso.

### Apoyos intermedios.-

Estos apoyos, que pueden ser caballetes o pilas, son estructuras intermedias, que se proyectan para resistir las cargas muertas y vivas que soportarán, las presiones del viento que actúan sobre la estructura y la superestructura y las fuerzas longitudinales en los apoyos fijos de los claros. Distribuyen las cargas uniformemente al cimiento o al estrato resistente.

El cabezal como la corona, nivela las cargas que llegan de los claros, sólo que en este caso se eliminan los diafragmas (ya no hay terraplén que se derrame) y se conservan los topes y bancos.

**Caballetes intermedios:** Los caballetes intermedios se diferencian de las pilas<sup>4</sup> porque constan de varias columnas, cuando se trate de cimentación superficial, sostenidas por zapatas; o bien de pilotes o pilas de cimentación que llegan hasta el cabezal, cuando sea cimentación profunda.

**Pilas:** Las pilas son estructuras rígidas, que se componen de cabezal y cuerpo; en algunos casos el cabezal es solo un remate del propio muro, pero en otros casos debe analizarse estructuralmente como si fuera un doble voladizo.

Las pilas varían de acuerdo al material:

Pueden ser de mampostería, concreto ciclópeo, simple o de refuerzo, o bien por el método de tierra armada.

Las pilas de mampostería, concreto simple y de concreto ciclópeo, se proyectan para una resistencia del terreno de 2 a 4 kg/cm<sup>2</sup>, la altura máxima recomendable es de 15.00 m. Pueden formar cualquier tipo de cimentación.

### **5.1.3 INFRAESTRUCTURA.**

En la ingeniería de puentes, la cimentación de los mismos se divide en subestructura e infraestructura; la infraestructura comprende la parte de la cimentación que queda abajo del nivel del terreno natural.

La infraestructura es parte de la estructura que transmite las cargas acumuladas sobre un estrato del terreno firme o por fricción; todos los cimientos se proyectarán de manera que las presiones máximas sobre el terreno queden dentro de los valores de capacidad de carga que se hallan adoptado.

Desplante por superficie:

Es aquella en la que la profundidad de desplante no excede de dos o tres veces el ancho del cimiento, sin embargo, es evidente que no existe un límite preciso en la profundidad de desplante que separe una cimentación poco profunda de una profunda y pueden ser:

- Zapatas aisladas
- Zapatas corridas
- Losas de cimentación.

La elección del tipo de cimentación superficial dependerá de la resistencia del terreno y de las características de cada uno:

a) Zapatas aisladas:

Las zapatas son elementos estructurales, generalmente cuadradas o rectangulares y muy raramente circulares, de concreto o de mampostería, pero siempre con el objeto de ampliar el área de contacto entre el estribo, caballete o pila y el terreno, y evitar así, que se presenten en el terreno esfuerzos mayores a los admisibles. Es decir, a la parte inferior de un estribo, pila o caballete, llegarán cargas verticales y momentos en ambos sentidos cuya acción se transmite al terreno.

Las dimensiones de las zapatas se proyectan para una cierta resistencia del terreno, si los esfuerzos calculados sobrepasan la fatiga admisible, se tendría que pensar en otro tipo de cimentación, de lo contrario resulta poco económico y funcional.

b) Zapatas corridas:

Las zapatas corridas se diseñan cuando los esfuerzos calculados en las zapatas aisladas sobrepasan la fatiga admisible y el aumento en las dimensiones de la zapata ya no es funcional.

La longitud supera en mucho al ancho, soportan varias columnas o un muro y pueden ser de concreto reforzado o mampostería, en el caso de cimientos que transmiten cargas no muy grandes.

c) Losas de cimentación:

Se proyectará una losa de concreto reforzado para distribuir las presiones sobre toda el área horizontal de la estructura, cuando la resistencia del terreno sea muy baja o las cargas sean muy altas.

Las cargas requeridas para apoyo de la cimentación deben aumentarse, llegándose al empleo de verdaderas losas de cimentación, construidas también de concreto reforzado, las que pueden llegar a ocupar toda la superficie construida.

### d) Cimentación profunda:

Se diseñan cimentaciones profundas cuando se rebasa el valor de la fatiga admisible como lo mencionado anteriormente, o existe el riesgo de que se produzcan asentamientos muy grandes; se tendrá que soportar la estructura en estratos más firmes que se encuentran a mayor profundidad. Frecuentemente, el estrato resistente se encuentra a una profundidad tan grande que no es posible alcanzarlo en forma económica, debiéndose entonces transmitir la carga por fricción en terrenos blandos y poco resistentes de que se dispone o tomando espesores suficientemente grandes de suelo con elementos de cimentación que distribuyan toda la carga.

Los elementos que forman las cimentaciones profundas que hoy se utilizan más frecuentemente se distinguen entre sí por la magnitud de su diámetro o lado, según sean de sección recta, circular o rectangular, que son las más comunes.

Los tipos empleados de cimentación profunda son:

- Pilotes
- Pilas
- Cilindros

#### **Pilotes:**

Es un tipo de cimentación económico emparado con otros tomando como base el costo por tonelada de capacidad de carga. Se emplean cuando no se puedan usar cimientos sobre roca u otro material sólido para cimentar, en aquellos sitios donde pueda ocurrir una erosión exagerada y las condiciones del suelo permitan el hincado de pilotes, se usarán éstos de preferencia como un medio de protección contra la socavación, aún cuando la capacidad de carga del terreno natural sea suficiente para sostener la estructura sin pilotes.

Son los elementos más esbeltos, la inmensa mayoría de los pilotes en uso tienen diámetros o anchos comprendidos entre 0.30 m. Y 0.60 m. Y la penetración mínima para cualquier pilote será de 3.00 m. En material suave.

Se pueden clasificar de la siguiente forma:

- I) De acuerdo al material del que se fabriquen, pueden ser: De madera, de acero, de concreto y compuestos.
- II) De acuerdo al sitio de fabricación: Prefabricados o colados "in situ".
- III) De acuerdo a su dirección: Verticales o inclinados.
- IV) De acuerdo a su funcionamiento se pueden clasificar en: Pilotes de Fricción, de Punta y Mixtos.

**I) De acuerdo al material:**

Los pilotes de madera ya se usan muy raramente en trabajos de importancia y han quedado prácticamente circunscritos a estructuras provisionales o a funciones de compactación de arenas.

Los pilotes de acero son de gran utilidad en aquellos casos en que la hinca de los pilotes de concreto se dificulte por la relativa resistencia del suelo, pues tiene mayor resistencia a los golpes que se producen al momento de ser hincado y mayor facilidad de penetración; suelen usarse secciones H o secciones tubulares, con tapón en la punta o sin él.

Los pilotes de acero de sección tubular se colocan en el terreno hincándolos o presionándolos y pueden tener su punta tapada o ser abiertos. Los pilotes suelen rellenarse con concreto una vez que alcanzaron la profundidad de desplante.

Los pilotes de acero de sección H, debido a su pequeña área transversal y a su gran resistencia son adecuados para penetrar materiales duros y para lugares en que no se desea tener fuerte desplazamiento del suelo a causa del hincado.

Los pilotes de concreto son los más ampliamente usados en la actualidad; pueden ser de concreto reforzado o presforzado y en su mayoría son de sección llena. Aunque últimamente se ha desarrollado el uso de pilotes huecos, por ser de menor peso.

Los pilotes de concreto, son incombustibles y sumamente resistentes al intemperismo, por lo que su duración puede considerarse indefinida.

Los pilotes compuestos se construyen por dos materiales, seleccionando entre madera, acero y concreto, también, pueden ser los pilotes de concreto formados por una parte precolada y otra colada en el lugar, o bien aquellos que consisten en una punta de acero para facilitar su hincado y cuerpo de concreto.

**II) De acuerdo al sitio de fabricación:**

Según el procedimiento de construcción y de colocación, los pilotes de concreto pueden ser prefabricados y colocados a golpes o a presión o colocados en su lugar, en una excavación realizada previamente a la construcción del pilote, para después ser hincados a golpes hasta su posición definitiva.

Los pilotes de concreto colocados en su lugar o "in situ", pueden ser de concreto simple o reforzado, con o sin tubo de ademe; forros de acero que permanecerán definitivamente en el lugar.

Los pilotes colados en su lugar, para ser usados en una cimentación, que soporten solamente cargas axiales y que la posibilidad de que se les aplique fuerzas laterales sea insignificante, no necesitaran ser reforzados, siempre y cuando el terreno les proporcione un apoyo lateral adecuado. Las porciones de los pilotes, que no tengan apoyo lateral, se proyectarán como columnas de concreto reforzado.

Los pilotes de concreto precolados, se emplean para soportar cargas verticales en las cimentaciones o bien cargas combinadas verticales y laterales en diversos tipos de estructuras, el esfuerzo de los pilotes se proyecta para resistir los esfuerzos debidos a las cargas de servicio, de manejo y de hincado.

Cuando lo requieren las condiciones del terreno, van provistos de puntas metálicas para facilitar su penetración; cuentan con una boquilla de salida de punta, para permitir la inyección del agua a presión, con objeto de producir erosión en el material adyacente a la punta del pilote y lubricar sus paredes.

El procedimiento de presfuerzo, que en este caso será postensado; consiste en dejar un ducto en el centro del pilote y un anclaje de rosca en su punta. después de colado y endurecido el concreto, se introduce una barra de presfuerzo, la cual se conecta al anclaje y se tensa a los esfuerzos permisibles del acero y del concreto y se ancla del extremo opuesto, después de lo cual se procede a su manejo e hincado respectivo, recuperando después la barra.

Así mismo, los pilotes pueden ser de sección uniforme, de forma de tronco de cono o pueden estar combinados. Los pilotes de concreto en general, tendrán un área de sección transversal, medida arriba de la porción con forma de tronco de pirámide, no menor de 900.0 cm<sup>2</sup>.

### **III) De acuerdo a su dirección:**

Los pilotes generalmente serán verticales de concreto reforzado para resistir las fuerzas verticales y laterales, pero cuando la resistencia lateral del suelo que rodea los pilotes es insuficiente para resistir las fuerzas horizontales transmitidas a la cimentación o cuando se necesite una mayor rigidez de la estructura en total, se pondrá en la cimentación pilotes inclinados.

### **IV) De acuerdo a su funcionamiento:**

Los pilotes transmiten su carga al suelo por fricción o por apoyo directo de la punta, el porcentaje relativo de estas formas de transmisión varía con forme a las características del suelo.

Los pilotes de una punta desarrollan su capacidad de carga con apoyo directo en un estrato resistente, depende exclusivamente de las características del suelo en el que se apoya y del área de su sección recta.

Los pilotes de fricción, desarrollan su resistencia por la fricción lateral que genera contra el suelo que los rodea, generalmente en material blando, de modo que su resistencia proviene total o casi totalmente de la adherencia que se desarrolla en el fuste, en el caso de suelos cohesivos o de la fricción entre el suelo y pilote, en el caso de suelos friccionantes.

Los pilotes mixtos, son aquellos que aprovechan a la vez estos efectos, es decir, transmiten su carga por apoyo directo y por la fricción lateral.

**Funciones combinadas:** Los grupos de pilotes tienen un comportamiento distinto al de un pilote aislado, tanto en lo que respecta a capacidad de carga, como en lo que se refiere a asentamientos. La capacidad de carga de un grupo de pilotes es igual a la suma de las capacidades de carga de los pilotes individuales.

El número de pilotes dependerá de la carga que soportará la estructura. Si se hace extensiva la carga, la separación será como mínimo 2.5 veces su diámetro a fin de que los esfuerzos inducidos en las puntas no se afecten entre sí.

**Pilas:**

Las pilas se consideran como la cimentación intermedia, pues debido a sus dimensiones se encuentran entre los pilotes y los cilindros.

La diferencia entre un pilote y una pila radica en su diámetro, es decir, los elementos cuyo ancho sobrepasan 1.00 m. Pero no excede del doble de ese valor suelen llamarse pilas.

Sin embargo, no se ha establecido hasta hoy una distinción definida entre pilas y pilotes y el criterio expuesto tiene como mérito el tratar de diferenciarlos de alguna manera, en algunos casos una pila es simplemente un elemento que, trabajando exactamente igual que una zapata, transmite cargas a mayor profundidad que la que suele considerarse en aquellas, es decir, un elemento es pila cuando la relación profundidad a ancho es 4 ó mayor, en tanto que para una zapata suelen considerarse relaciones del orden de 1.

Los criterios de cálculo de capacidad de carga y asentamientos son los mismos empleados en pilotes, salvo que, las pilas suelen ser pre-excavadas a mano o con maquinaria especial, pues sus dimensiones prohíben su hincado a golpes.

Las pilas son generalmente de sección circular de 60.0 cm. De diámetro y de 7.00 a 30.00 m. De longitud. Se pueden distinguir cuatro tipos de pilas:

Las que trabajan de punta, a fricción, las combinadas y las acampanadas (con ampliación de base).

Se pueden tomar de ejemplos los mismos usados en pilotes tomando en cuenta las características anteriores.

### **Cilindros:**

Los cilindros son los elementos de cimentación que cuentan con la mayor sección. Su empleo está indicado cuando prácticamente no existe un manto resistente, o bien se encuentran a gran profundidad y por razones de esbeltez no es posible pensar en pilotes o pilas.

Se hace notar que los cilindros a comparación de los pilotes son de costo mucho mayor, por lo que se recomendarán los últimos siempre que sea posible dependiendo de los requerimientos técnicos necesarios.

Los cilindros son huecos, debido a los problemas posibles que puedan presentarse para su hincado. Se consideran de más de 3.50 m. De diámetro hasta 6.00 m., que permite dar espacio suficiente para la excavación interior.

Los cilindros se construyen y se hincan bajo el procedimiento de Pozo Indio, es decir, la construcción se hace por etapas y el cilindro se va hincando en el terreno por su propio peso, ya que en el extremo lleva una cuchilla de acero y además se va extrayendo el material de su interior. Cuando la cuchilla ha llegado al nivel de desplante previsto, se cuele un tapón inferior y uno superior; al cual queda anclado el armado de los elementos de la subestructura.

Dadas las cargas a las que está sometido se hará la verificación de esfuerzos correspondientes, para su diseño. Las paredes del cilindro son de concreto reforzado, no se calculan, ya que se consideran sobradas con los 80.0 cm. De espesor recomendado, en cambio los tapones si se calculan.

Se les llama Cajones de Cimentación, cuando su forma geométrica es paralelepípedica, con anchos similares a los anteriores, son huecos por la misma razón y se construyen con el mismo material, aunque algunas veces se rellenan de arena.

### **Cimentaciones mixtas:**

Existen ocasiones en las que se necesitarán utilizar ambos tipos de cimentaciones, que de acuerdo a la topografía y mecánica de suelos se realizan:

Cuando exista un grupo de pilotes o pilas, se necesitará una zapata o losa que regule las cargas transmitidas por el elementos de apoyo.

#### **5.1.4 EQUIPAMIENTO.**

Se les conoce como a los elementos anexos al puente, que sirven para dar protección a la carretera y seguridad a los usuarios; evita que se produzcan accidentes causados por la inseguridad que se tendría al cruzar la vía o al pasar por la carretera.

Como lo son:

- Parapetos
- Guarniciones
- Banquetas

**Equipamiento menor.**

- Drenaje de la calzada
- Sobreelevación
- Revestimiento del piso de la estructura
- Instalaciones destinadas a servicios públicos.

Parapetos:

Son protecciones que se colocan a ambos lados de la estructura. Existen varios tipos de parapetos que están en función de las necesidades de cada paso a desnivel.

Los parapetos deben tener proporciones y aspectos estéticos para que armonice con todo el puente, se procura que no obstaculicen la visibilidad de los conductores sin que por eso reduzca la seguridad de los vehículos.

Los materiales empleados en los parapetos serán de concreto, acero, o una combinación de ellos. Las dimensiones de los diferentes tipos de parapetos se especifican en la AASHTO, en las Especificaciones Normales para Apoyos Estructurales para Señales de Caminos, Unidades de Iluminación y Señales de Tránsito.

**Parapetos para calzada:** El propósito principal de los parapetos para calzada es controlar al tránsito que circula por la estructura; deben tomarse en cuenta otros factores, como son la protección de los ocupantes del vehículo en caso de colisión y de los vehículos próximos a la colisión, además de la buena apariencia y la suficiente visibilidad para los vehículos que la transitan.

Se proyectarán de tal manera que presenten superficies longitudinales lisas por el lado del tránsito y que no sean interrumpidas por los postes verticales o cualquier otro saliente.

Los parapetos se unen a la guarnición dependiendo del tipo de éstos.

**Parapetos para banqueta:** Los elementos de estos parapetos se hallarán de acuerdo con el tipo y volumen del tránsito de peatones calculado en el proyecto, tomando en cuenta la buena apariencia, la seguridad y la suficiente visibilidad por parte de los conductores.

### Guarniciones:

Las guarniciones, al igual que en las carreteras, se emplean para limitar el área de rodamiento dentro de la estructura; tienen la finalidad de dar seguridad y encausar el agua acumulada hacia los lavaderos de los accesos.

El ancho mínimo de las guarniciones será de 45.0 cm. Y la altura será la especificada para puentes; para mayores detalles ver el plano correspondiente.

Los tramos de acceso también incluyen guarniciones, que pueden variar ya sea en uno o en ambos extremos, con respecto a la estructura.

### Banquetas:

Las banquetas son justificables en los pasos a desnivel, cuando cruzan zonas urbanas o están cerca de ellas. El ancho de banqueta es el ancho libre, medido normal al eje longitudinal del paso entre la parte interior más saliente del parapeto y la parte superior de la cara de la guarnición; deben tener un ancho mínimo de 0.80 m., para darle seguridad a las personas que por ellas circulen.

### **Equipamiento menor:**

#### Drenaje de la calzada:

El drenaje transversal de la calzada se efectuará por medio del bombeo que se de a la carpeta y el drenaje longitudinal se hará por medio de la contra flecha del claro o por la pendiente de la rasante.

Si es necesario, el drenaje longitudinal se hará por medio de drenes, coladeras u otro medio adecuado, principalmente cuando los claros sean largos, en dimensión y número suficiente para desalojar debidamente el agua a la cuneta del acceso; solamente en caso de puentes.

En el caso de los puentes cortos de un solo claro, particularmente pasos superiores, pueden construirse sin drenes, efectuándose el drenaje de la calzada mediante conductos abiertos o cerrados colocados en los extremos de la estructura.

La disposición de los drenes del piso y sus detalles se harán en forma tal que el agua no descargue sobre ningún elemento de la estructura para evitar su erosión en dicho sitio. Las partes sobresalientes de las cubiertas de concreto deberán llevar goteras.

Así mismo, el agua que drene por las cunetas del camino debe desviarse, no permitiendo de ninguna manera, que fluya sobre la estructura.

Sobreelevación:

La sobreelevación es la pendiente que se da a la corona hacia el centro de la curva para contrarrestar parcialmente el efecto de la fuerza centrífuga de un vehículo en las curvas del alineamiento horizontal.

La sobreelevación del piso de un paso a desnivel en una curva horizontal se dará de acuerdo con las especificaciones establecidas para la construcción del camino, pero en ningún caso excederá del 10.0 % del ancho de la calzada.

Revestimiento del piso de la estructura:

Todos los pisos del paso a desnivel tendrán un acabado hecho con material antiderrapante que no permita el patinaje de los vehículos; el acabado consistirá en una capa de concreto asfáltico de 3.0 cm. De espesor, generalmente.

Instalaciones destinadas a servicios públicos:

En los casos en los que se requiera, se tomarán las precauciones necesarias para alojar postes y soportes para alambre de troles, postes para alumbrado, conductos eléctricos y de teléfono, tuberías para agua y gas, etc.

**5.1.5 ACCESOS.**

- 1.- Terraplenes de acceso.
- 2.- Lavaderos.

Terraplenes de acceso:

Es la obra o conjunto de obras que se hacen dentro del derecho de vía de un camino, para permitir el ascenso y descenso al paso a desnivel.

Los accesos para pasos a desnivel se forman de terraplén compactado, como mínimo al 90.0% de su peso volumétrico óptimo determinado por las pruebas Proctor<sup>8</sup> de la S.C.T. o la que determine el proyecto.

Los accesos constan de guarniciones, lavaderos y parapetos; éstos pueden ser con postes y defensas de lámina de acero.

En el proyecto de estructuras se pide una longitud de diseño de 40.0 m. Partiendo de la cara posterior del muro de retención del apoyo extremo, que después une la carretera.

El procedimiento de construcción consiste en: Construir los terraplenes de acceso hasta el nivel de la sub-rasante y posteriormente colocar la guarnición y parapeto alineadamente. Se afinarán los taludes de los terraplenes y se construirán los lavaderos de mampostería o de concreto según se indique y por último se colocará la carpeta.

Los accesos pueden ser normales, curvos o esviados dependiendo del derecho de vía.

### Lavaderos:

Los lavaderos que se emplean en los accesos de los pasos a desnivel tienen las mismas funciones con características similares a los que se emplean en los terraplenes de las carreteras.

El número de éstos variará dependiendo de las condiciones del terreno natural, con respecto a la distancia que tendrán entre cada uno, será como mínimo 15.0 m. Y máximo 30.0 m., a partir de 5.0 m. Que se toman desde la referencia del tipo de estructura; para estribos se tomará donde corta el alero con el terreno y en caballetes a partir el límite del alero.

### **5.1.6 ELEMENTOS DE LIGA.**

Los elementos de liga se colocan en todas las partes de la estructura donde existan uniones, ya sea en la superestructura con la subestructura, la subestructura con la infraestructura o éstas con los accesos, etc., para evitar la unión de concreto contra concreto, es decir, para que los cambios de dilatación y contracción no afecten a la estructura. Además de servir como amortiguamiento.

Los elementos de liga pueden ser:

- 1.- Apoyos.
- 2.- Juntas de dilatación.

### Apoyos:

Tienen como principal finalidad amortiguar las cargas verticales. Estos apoyos hacen de diferentes materiales tales como: Teflón, acero estructural, neopreno, plomo, etc.

Los apoyos se usan cuando se coloca la superestructura en la subestructura, es decir, se ponen de manera que las placas queden totalmente en contacto en sus dos caras, con las superficies de concreto de los bancos de las coronas o cabezales y de las trabes o cara inferior de las losas planas.

Actualmente, ya solo se usan los apoyos neopreno; se diseñan para que su esfuerzo de trabajo a la compresión no exceda  $100 \text{ kg/cm}^2$ , para coronas o cabezales de concreto de  $f_c=250 \text{ kg/cm}^2$ , con una deformación máxima permisible

del 15.0 %. El neopreno que se utilice deberá ser aceptado por la Secretaría y cumplir con la especificación ASTM D2240 y tendrá dureza Shore 60.

Las placas de acero que se utilicen en los dispositivos de apoyo serán de grado estructural.

Juntas de dilatación:

Como su nombre lo indica, las juntas de dilatación sirven para solventar los movimientos de dilatación y contracción del concreto estructural entre cada losa o bien en aquellos puntos donde se considere necesario.

Las juntas constan de cartón asfaltado, generalmente de 2.0 cm. De espesor o espuma de poliestireno que se utilizarán como moldes perdidos, con un recubrimiento de Sikaflex 1-A o similar de 2.0 cm. De espesor.

Cuando se usen placas de cubre-junta, se proyectarán para cubrir la junta y prevenir en tanto como sea posible la acumulación de tierra y desperdicio sobre los apoyos del puente, de preferencia se conectarán rígidamente a la pieza de puente extrema.

**5.2 FORMULACIÓN DE ALTERNATIVAS.**

Una vez que conocemos las partes principales que componen a los puentes, que sabemos también los tipos de puentes que existen y las variantes que pueden hacerse de estos, bien podemos iniciar nuestros anteproyectos o posibles alternativas de puente.

Para llevar a cabo la formulación de las posibles alternativas de puente que nos satisfarán de acuerdo a las necesidades que se presentan de nuestro proyecto, es importante que se cuente ya con la mayoría de la información, así como de los estudios preliminares, ya que como hemos visto la influencia de estos en la elección del tipo es determinante.

Para ello necesitamos primeramente conocer el valor total del claro que halla que librar, es decir, necesitamos obtener de los levantamientos la longitud total para la cual se requerirá el puente, por lo tanto, gracias al estudio topográfico tendremos y conoceremos la sección de la cual estamos tratando, y en base a ello, se propondrán alternativas para el número de claros, si se solucionará el problema con un solo claro, o bien si se dividirá en mas claros.

Se analiza la factibilidad de hacer un proyecto de varios claros, en caso de que la longitud total del puente sea demasiado larga, en algunas ocasiones es conveniente atacar el claro mediante diversos claros, pero hay que tomar en cuenta en que esto dependerá también de acuerdo al estudio topohidráulico, ya que en ocasiones el comportamiento del afluente no nos permite obstruir el paso del agua con la construcción de un apoyo intermedio.

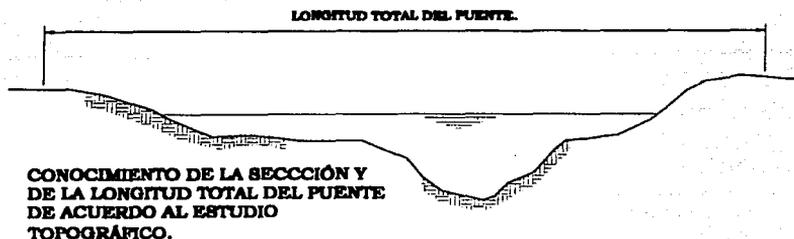


Fig. 5.2.1

En cuanto al material de construcción del tipo de puente (punto muy importante), este se decidirá de acuerdo al estudio que se halla hecho del lugar, ya que es importante que los materiales de construcción del puente sean de fácil acceso al lugar de la obra con la finalidad de que económicamente no se eleve el costo planteado para su construcción.

Uno de los puntos importantes y que se ha mencionado ya con anterioridad, es el hecho de una investigación de retroalimentación, en la cual nos podemos dar cuenta sobre si ya se ha presentado anteriormente un problema similar, esto es muy importante, ya que en caso de ser así nos puede simplificar y acelerar el proyecto del puente en cuestión evitando que realicemos trabajo que puede resultar innecesario.

Otro factor que debe tomarse en cuenta es el tipo de camino para el cual va a proyectarse el puente, esto es importante además de analizar el camino, ya que existen ocasiones en que por la forma del camino no es posible transportar las traveses para la superestructura, en caso de que de acuerdo a la alternativa de puente estas traveses sean necesarias.

El primer paso es, de acuerdo a la información que se tiene proponer un tipo de cimentación, en base a los datos del tipo de camino podemos darnos una idea de la capacidad de carga que debe tener nuestro puente, además de acuerdo al estudio de mecánica de suelos, conocemos ya la capacidad de carga del terreno y el nivel o estrato en donde es recomendable desplantar nuestra cimentación. Es indispensable que el ingeniero proponga dos o mas alternativas de cimentación, con la finalidad de tener opciones de donde elegir.

Esto es posible debido a que la tecnología nos permite elegir de un variado tipo de cimentaciones existentes, las cuales han sido utilizadas en proyectos de la S.C.T. funcionando satisfactoriamente.

FALLA DE O...

Al proponer el tipo de cimentación, el proyectista no deberá olvidar en ningún momento que el tipo de cimentación va íntimamente ligado al tipo de superestructura que piense colocar, además al hacer la propuesta del tipo de cimentación deberá tomar en cuenta que deberá premeditar el proceso constructivo de dicha cimentación, para, si es el caso descartar la posibilidad desde el principio, o bien hacer una variante del tipo de cimentación.

**ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN UN PUENTE.**

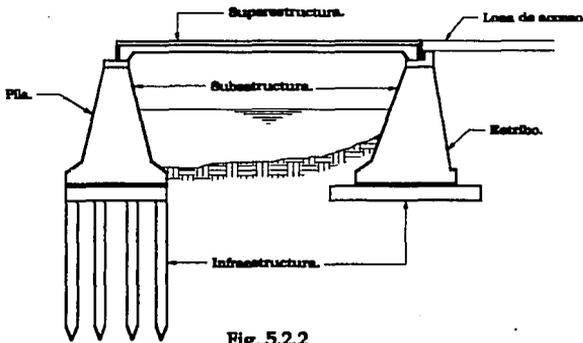


Fig. 5.2.2

Estos elementos que ya han sido definidos anteriormente, son los que darán forma y generarán el buen funcionamiento del puente, ninguno de estos elementos deberá fallar, ya que de lo contrario, se estarán poniendo en juego las vidas de muchas personas. Los tres son importantes y de los tres se desarrollarán alternativas que le den solución al problema.

La elección del tipo no es sencilla, ya que influyen muchos factores que deben de tomarse en cuenta para llegar a la mejor, y en muchos de los casos esto se hace a base de la experiencia que tengan los ingenieros encargados del proyecto, no sin antes hacer pruebas y análisis de las diferentes alternativas propuestas.

Por lo tanto de acuerdo al tipo de cimentación se idealiza el proyecto, si estará apoyado sobre estribos o caballetes, si contará con una o varias pilas para generar claros mas cortos, si la cimentación será superficial, a base de zapatas, o bien será profunda a base de pilotes, etc.

Uno de los problemas que nos presentan las cimentaciones a base de pilotes, es el número y el arreglo que se haga de estos, claro que a partir de un anteproyecto estructural se pueden presentar varias modificaciones en este sentido.

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

La infraestructura del puente es la encargada de transmitir las cargas a las que estará sometido el puente al terreno sobre el cual se desplantará la estructura, sirviendo de apoyo para el puente. Siendo mas objetivos, podemos incluir al suelo como parte de la infraestructura del puente ya que será este quien finalmente soporte las cargas.

Existen factores que son considerados de gran importancia, cuando se quiere llevar a cabo el desarrollo de alternativas de solución para el problema de cimentación de un puente, estos factores son:

- Las características y requerimientos propios del puente, como son su geometría, cargas a soportar, etc.
- Las características propias del cauce o depresión que pretende salvarse, como son los claros mínimos, la altura de las pilas, la resistencia del suelo, etc.
- El tipo de estructuras utilizadas en el camino, con el fin de utilizar el mismo equipo de construcción.
- Los materiales y mano de obra disponibles en el lugar donde se llevará a cabo la obra.
- La armonía arquitectónica de la estructura del puente con las usadas normalmente en la región.

Todo esto se debe de tomar en cuenta cuando se están construyendo o desarrollando las alternativas de solución, sin olvidar en ningún momento que el aspecto económico, es de gran relevancia, y finalmente uno de los aspectos de mayor influencia, o que mas se toma en cuenta en la elección de la mejor alternativa.

En ocasiones se llevan a cabo juntas de discusiones, en donde se pretende aproximarse a la estructura óptima. Para ello se estudian las ventajas y desventajas de ciertos tipos de cimentación con algunos tipos de subestructuras y superestructuras, distintos claros, distintas condiciones de apoyo, materiales existentes, accesibilidad a la zona del cruce, etc.

A continuación se tratará de una forma mas amplia y con un análisis mas objetivo, la manera en como se van armando las posibles alternativas, los factores que se toman en cuenta para llevar a cabo una elección del tipo de cimentación mas adecuado de acuerdo a las necesidades, la manera en como influyen el tipo de cimentación en los demás elementos del puente, los tipos mas usuales y las características estructurales de cada uno de ellos.

### 5.2.1 INFRAESTRUCTURA O CIMENTACIÓN.

Los principales factores que se toman en cuenta para llevar a cabo la elección del tipo de cimentación son los siguientes:

- Las descargas de la subestructura.
- La resistencia y deformabilidad del suelo.
- La profundidad de socavación.
- El costo y tiempo de construcción.

Cuando se han definido las cargas de acuerdo al procedimiento que se halla escogido, las cuales serán transferidas a la cimentación, además que se conoce la resistencia del suelo con los comentarios de los especialistas en Mecánica de Suelos, quienes deben de manifestar el tipo de cimentación que ellos recomiendan de acuerdo a las necesidades que se presentan en la obra. por lo tanto se determina el área de contacto requerida para la zapata.

En la medida en que la zapata aumenta, la reacción del suelo sobre ella ocasiona mayores momentos y esto eleva el costo de construcción; por otro lado debemos tomar en cuenta que la cimentación debe de tener la capacidad suficiente para evitar el volteo de la estructura por la acción de las fuerzas horizontales que actúan sobre ella, como son las fuerzas debidas al viento, la presión hidráulica producida por la corriente, las fuerzas sísmicas, etc., además de que su comportamiento deberá ser tal que sus asentamientos no ocasionen problemas en la superestructura del puente.

Si consideramos estos aspectos, quizá podría haber la posibilidad de crear una alternativa de cimentación parcialmente compensada o compensada para reducir las cargas netas actuantes sobre el suelo y con ello las deformaciones, o bien quizá se determine necesario recurrir a una cimentación profunda que permita el apoyo en estratos más resistentes, que sean menos compresibles y que por lo tanto, garanticen la estabilidad de la estructura; en esta parte del proyecto en la cual se están generando las posibles alternativas, no deben descartarse ninguna de las posibilidades, salvo que desde ese preciso momento se considere una alternativa completamente equivocada, donde los ingenieros encargados del proyecto no crean necesario realizar el análisis de dicha alternativa, por considerarla estar fuera de toda posibilidad.

Por otro lado, existe el problema de la profundidad de socavación, esta es la profundidad a la cual se considera que con una avenida máxima el cauce se llevará determinada cantidad de suelo, afectando por lo tanto la cimentación del puente, esta profundidad de socavación es calculada en el estudio topohidráulico, o en caso de no serlo deberá de exigirse, ya que este es un factor determinante en la elección del tipo de cimentación, o elección de la profundidad de desplante.

El problema que nos representa la socavación es de magnitudes considerables, ya que es el principal problema que origina que los puentes fallen, ya que aunque se cuente en un nivel relativamente superficial con suelos resistentes, si la socavación es grande de acuerdo a lo que nos presente el estudio, se tendrá que recurrir a una cimentación profunda.

Se debe de tener cuidado al momento de elegir el tipo de cimentación, ya que hay que tomar en cuenta que la resistencia en suelos arenosos, depende de la compacidad, por lo que si el suelo es muy resistente, es probable que no haya sido socavado anteriormente.

En lo que se refiere al tiempo y costo de construcción, la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT), tiene definidos algunos criterios que nos sirven para determinar un buen tipo de cimentación.

Por ejemplo, la elección de pilas y cilindros en lugar de pilotes de cimentación es muy recomendable cuando en la estratigrafía del suelo aparecen fragmentos de roca de tamaños medianos a grandes (mayores de 25cm de diámetro) y en porcentajes mayores de 10, o bien si se presentan estratos compactos de arenas que hay que atravesar. Esto nos genera un ahorro en el tiempo de construcción, ya que la dificultad en el hincado de los pilotes no la tendremos en la construcción de pilas y cilindros.

Además, la construcción de pilas y cilindros, es favorable, ya que el gran peso de los elementos y el procedimiento constructivo de estos nos permite desplazar o retirar las piedras que obstaculicen el hincado; debemos de tomar en cuenta que a medida que el tamaño de los fragmentos de roca se incrementa, la dificultad de hincado aún de las pilas y los cilindros también lo hace.

La importancia que tiene la elección del tipo de cimentación estriba en que a partir de la elección de ella y de su comportamiento, se elegirán los demás elementos del puente, de ahí la importancia de hacer una buena elección de la cimentación, aunque generalmente se proponen unos dos tipos, sobre los cuales se desarrollan los demás elementos con la finalidad de contar con varios anteproyectos para la evaluación de posibilidades.

Por ejemplo, si el suelo de cimentación es poco resistente, tendrá que decidirse entre:

- 1) Un mayor número de apoyos para reducir las cargas, lo cual nos incrementará la cantidad de elementos de subestructura y nos reduce los claros de superestructura.
- 2) El uso de cimentaciones profundas, que por un lado son de mayor costo, pero hacen más factible la elección de claros de superestructura mucho más adecuados, además de que generan un número menor de apoyos.
- 3) O bien, el cimentar sobre núcleos resistentes como pueden ser los afloramientos de roca en las orillas, pero que implican la utilización de claros tal vez no tan convenientes económicamente.

A lo que se quiere llegar finalmente es a tener un desarrollo de varias alternativas del tipo de cimentación, las cuales se analizan y se estudian, con la finalidad de hacer una evaluación, para llegar a la elección definitiva del tipo de cimentación, la cual debe proporcionar seguridad y estabilidad a la estructura, que sea de fácil ejecución y de un costo razonable.

**PILA DE CONCRETO SOBRE CILINDRO.**

PILA EN FORMA DE T

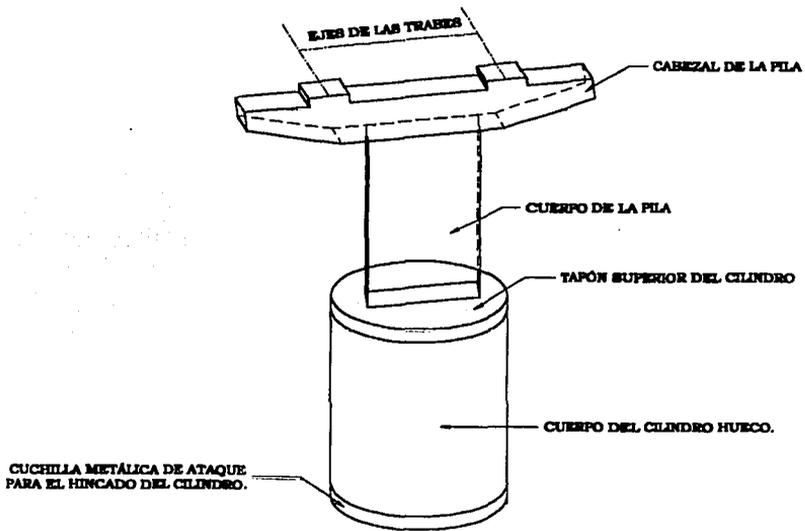


Fig. 5.2.1.1

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 5.2.2 DEFINICIÓN DE ALTERNATIVAS PARA LA SUBESTRUCTURA.

La subestructura de un puente es la que esta formada por los apoyos extremos e intermedios, es decir, por estribos o caballetes y pilas. La función de los apoyos extremos es la de soportar los extremos del puente, y generalmente el servir como muros de contención. Las pilas son los apoyos intermedios del puente.

Antes de seguir adelante, es necesario hacer la aclaración en cuanto a la definición de una pila, ya que tiene dos significados diferentes de acuerdo a su uso. Por un lado, la pila se define como un elemento estructural subterráneo, que transmite las cargas a los estratos capaces de soportarla; por otro lado, la pila es el apoyo para la superestructura de un puente, este último significado es el que deberá dársele para este tema.

Los factores que deben de considerarse en la elección de la subestructura son:

- 1) Las fuerzas horizontales y verticales transmitidas por la superestructura, las actuantes directamente sobre la subestructura y las debidas al empuje de tierras en el caso de estribos.
- 2) La altura de las pilas de acuerdo al nivel de aguas de diseño, o bien si va a respetarse la altura de la rasante.
- 3) El material de construcción existente en la región.
- 4) La facilidad de entrada al sitio de construcción de maquinaria de gran tamaño.
- 5) El costo de las pilas y estribos.
- 6) El aspecto estético de las pilas.

Los estribos o caballetes y las pilas deben ser capaces de resistir la acción de las diferentes combinaciones de cargas debidas a la acción del tráfico, el viento, la presión de la corriente, el sismo, etc.

Hay que tomar en cuenta que en algunas partes de los estribos, los esfuerzos máximos pueden ser causados por acciones diferentes a las que producen los máximos esfuerzos en otras zonas, como en el cabezal, donde los mayores esfuerzos provienen de las cargas transmitidas por la superestructura, y la base del muro del estribo, cuyos momentos máximos pueden resultar del empuje de tierras.

Por otro lado, en las pilas, algunas condiciones de carga serán mas desfavorables para los esfuerzos y otras para la estabilidad de la estructura. La estabilidad de las pilas se debe revisar suponiendo que no exista la superestructura cuando se consideren las cargas horizontales de viento, sismo, etc., ya que esta condición es crítica.

Se debe de tener cierto cuidado cuando las pilas están sujetas a la acción de la corriente de agua, para estos casos conviene hacer los bordes de la pila redondeados o con forma hidrodinámica para reducir la presión de la corriente.

Generalmente los elementos que forman parte de la subestructura son de concreto y acero, o bien de mampostería. La elección de los materiales de construcción es importante, ya que hay que tomar en cuenta que existen algunos parámetros tales como la posibilidad de fabricar o bien de acarrear concreto a la obra, la existencia de roca en la zona, ya que esto nos puede llevar a elegir elementos de mampostería siempre y cuando por anteproyecto se tenga contemplada una altura razonable para dichos elementos. Las pilas de mampostería son económicas hasta alturas de 14 a 16 metros; mientras que los estribos lo son hasta alturas de 11 metros.

La piedra es usada en ocasiones como revestimiento para incrementar la resistencia a la erosión, especialmente cerca de la superficie de la corriente si esta existe, o bien se puede utilizar para dar una mejor apariencia.

Par el caso en que sean contemplados elementos de acero como subestructura, y sobre todo si estos estarán en contacto con el agua, deberán protegerse de la humedad mediante pintura o revestimientos que pueden ser de concreto, sobre todo cuando están sujetos a ciclos de mojado y secado.

Uno de los aspectos que actualmente están cobrando gran importancia (algo que no se hacía) y que por lo tanto debe de tomarse en cuenta al momento de definir las alternativas para que se tome en cuenta al momento de desarrollar el anteproyecto es el **aspecto estético** de los elementos de subestructura.

Actualmente el ingeniero proyectista, al momento de definir las posibles alternativas de subestructura toma en cuenta el aspecto estético que en el puente presentan los diferentes juegos de pilas y estribos. El concreto, por su facilidad de moldeado es el material que presenta mayores ventajas para el desarrollo arquitectónico de los puentes, sobre todo en las pilas, ya que estas brindan una mayor libertad para darles diferentes formas, de las mas sencillas hasta las mas caprichosas; sin embargo, deberá de tomarse en cuenta el costo al elegir una forma determinada para una pila.

Para la definición de alternativas del tipo de subestructura son muchos los aspectos que deben de tomarse en cuenta, como los ya mencionados, pero además también existen muchas variantes o posibilidades de solución para satisfacer las necesidades de apoyos que nos exija cierto puente en específico, de acuerdo a todas las características que nos presente tanto el lugar donde estará ubicado el puente, como las características propias del puente.

Si se trata de un puente que tenga que pasar a una gran altura del nivel del terreno natural, o las condiciones de cimentación son deficientes, como consecuencia los costos por pila serán altos, y por lo tanto la economía de la obra en su conjunto se logra aumentando los claros entre los apoyos, con el objeto de reducir el número de pilas.

En ingeniería existe una regla para puentes, que establece en cuanto a lo que se refiere al costo, que:

- La mejor economía se logra cuando el costo de la superestructura es igual al costo de la subestructura.

Para que esta regla sea totalmente aplicable, la altura de las pilas, los materiales de cimentación y otras condiciones de construcción deben ser todas iguales para cada pila.

Debido a que el concreto es el material mas usado para la construcción de elementos de subestructura, mencionaremos algunos tipos de subestructura y sus características cuando son hechos de este material.

**a) Estribos de gravedad.**

Son estribos de construcción simple, son usados de manera económica hasta alturas de 5 metros, ya que para mayores alturas el volumen de concreto que utilizan es muy grande. Las secciones mas usadas son las que se muestran a continuación.

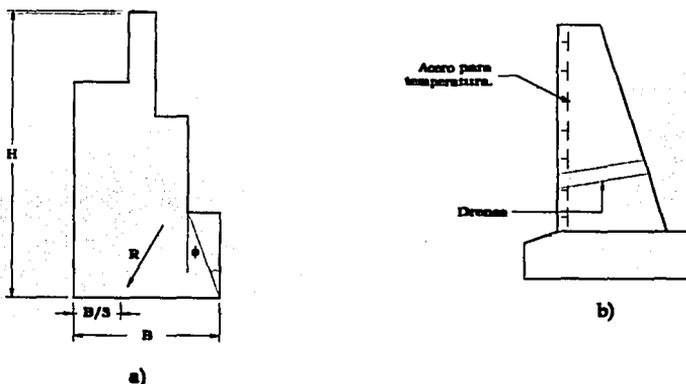


Fig. 5.2.2.1

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

La estabilidad de estos estribos depende completamente de su peso propio y del suelo en el cual se apoyen. Para que su comportamiento sea adecuado, la resultante de las fuerzas que actúen sobre él y las de su peso propio deben pasar por el tercio medio de su base, tal como se observa en el inciso a) de la fig. 5.2.1.2 con lo cual evitamos las tensiones en dicha base.

Solo como aclaración, cabe mencionar que cuando se prevean hundimientos diferenciales del suelo, no es recomendable el uso de estos estribos, ya que no tienen la suficiente flexibilidad para adaptarse a los movimientos, a no ser que se construya en secciones cortas e independientes.

Como estos estribos son muy dados al agrietamiento durante el proceso de fraguado, se recomienda utilizar cemento Pórtland de bajo calor, además de colocar un pequeño armado en la cara expuesta a la intemperie para evitar el agrietamiento futuro por cambios de temperatura.

**b) Estribos en cantiliver.**

Este tipo de estribos se subdivide en otros tres, que son:

**b.1) Estribos en cantiliver libre.**

Este tipo de estribos resulta económico hasta 7 metros de altura. Para mayores alturas el refuerzo requerido por los momentos aumenta considerablemente, por lo que es preferible usar contrafuertes. La sección de este tipo de estribos es la que se presenta en la fig. 5.2.2.2.

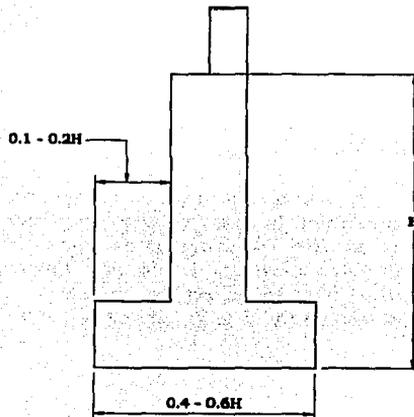


Fig. 5.2.2.2

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

b.2) *Estribos en cantiliver con contrafuertes.*

Este tipo de estribo es recomendable para alturas mayores a los 7 metros. Es espaciamiento de los contrafuertes es del orden de  $1/3$  a  $1/2$  de la altura del estribo y las paredes de retención se diseñan como losas apoyadas en los mismos contrafuertes. En la fig. 5.2.2.3 se muestra la sección de este tipo de estribo.

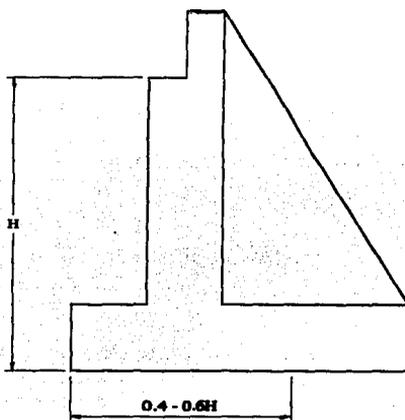


Fig. 5.2.2.3

b.3) *Estribos en cantiliver apuntalado.*

Si los claros del puente no son mayores de 10 metros, no es necesario que se dejen juntas de expansión para la losa, ya que se puede construir pegada al estribo. De esta manera nos permite calcular los estribos como vigas apoyadas en sus extremos para el efecto del empuje de tierras. Para lograr este efecto es necesario montar la losa del puente antes de colocar el relleno. Para ilustrar mejor este tipo de estribo, véase la fig. 5.2.2.4 de esta sección.

c) *Estribos de semigravedad.*

Este tipo de estribo es un tanto más esbelto que el de gravedad y requiere de refuerzo, el cual consiste en varillas verticales colocadas a lo largo del parámetro interior y otras que se continúan dentro de las zapatas. Además, de igual manera que en los estribos de gravedad es conveniente colocar un armado por temperatura en la cara expuesta.

TESIS CUIB  
FALLA DE ORIGEN

**ESTRIBO EN CANTILIVER APUNTALADO.**

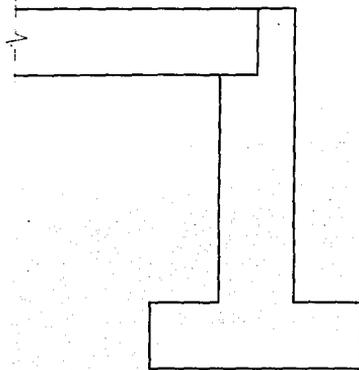


Fig. 5.2.24

El uso de estos estribos es recomendable sobre los de cantiliver cuando lo más importante sea su permanencia y los bajos costos de mantenimiento, pues su mayor espesor, aunque ocasiona un mayor costo inicial, los hace más resistentes a los agentes erosivos. ( fig. 5.2.2.5).

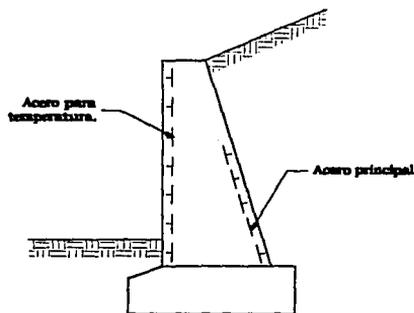
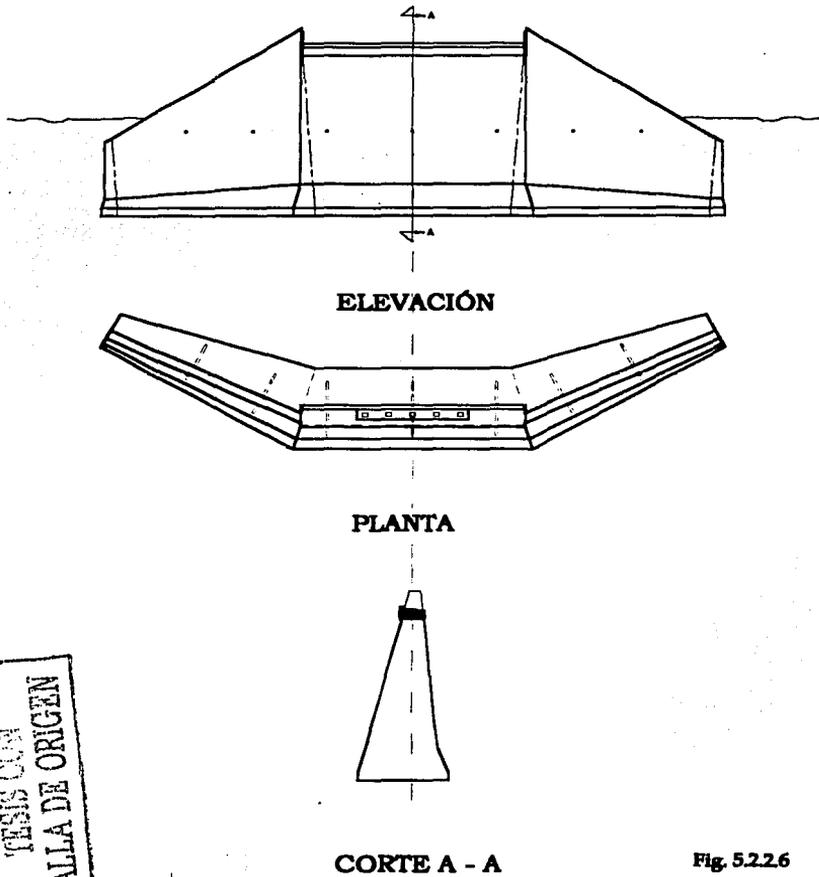


Fig. 5.2.25

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**d) Estribos con aleros.**

Estos estribos han sido muy usados para la construcción de diversos puentes en México y han dado muy buenos resultados. Con el fin de aumentar la estabilidad del muro de contención se utilizan aleros construidos monolíticamente con el muro que sirve de apoyo al puente (fig. 5.2.2.6). estos aleros pueden ayudar a la retención del terraplén de acceso al puente, en cuyo caso es conveniente ligarlos entre sí.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Fig. 5.2.2.6

e) **Caballetes.**

El caballete puede considerarse como un tipo especial de estribo, en el cual no existe el muro de contención, por lo que se permite el desarrollo de un talud del terraplén a través de él. (fig. 5.2.2.7). este tipo de apoyos tiene la ventaja de requerir menos material que los estribos, pero cuando el talud es muy tendido, puede implicar claros mayores para el puente, pero debe de tomarse en cuenta ya que puede ofrecer una buena alternativa para solucionar el problema de cimentación del puente.

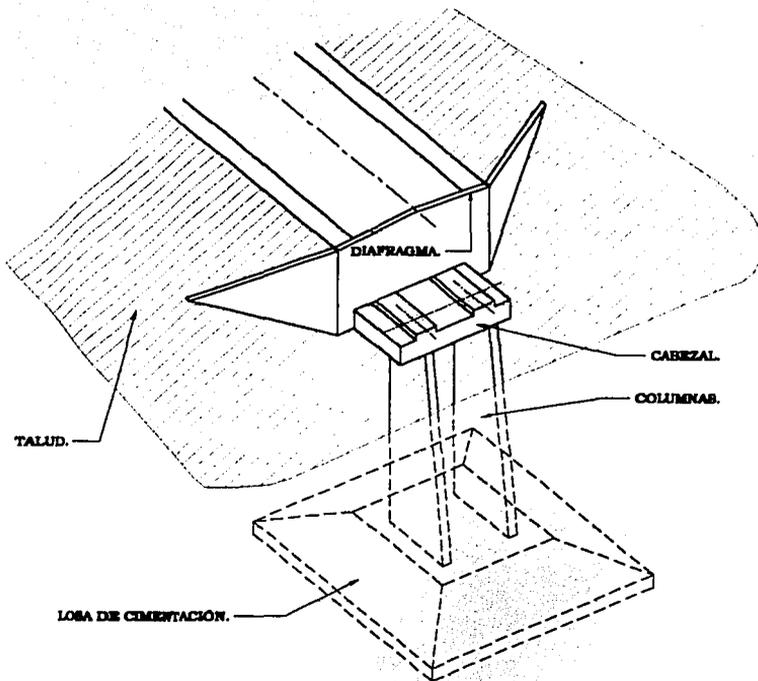


Fig. 5.2.2.7

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**f) Pilas de gravedad.**

Este tipo de pilas sin de diseño simple, y su procedimiento constructivo es hasta cierto punto sencillo, económico y relativamente rápido. Estas pilas son utilizadas básicamente cuando la altura del puente es baja, aunque para alturas mayores, se puede construir una variante de estas, lo cual consiste en construir la parte inferior maciza y la superior hueca.

El refuerzo que requieren este tipo de pilas, es el necesario por contracción del concreto además del que debe colocarse para evitar los agrietamientos por temperatura. Consiste en la colocación de varillas verticales en la periferia y estribos horizontales. (fig. 5.2.2.8).

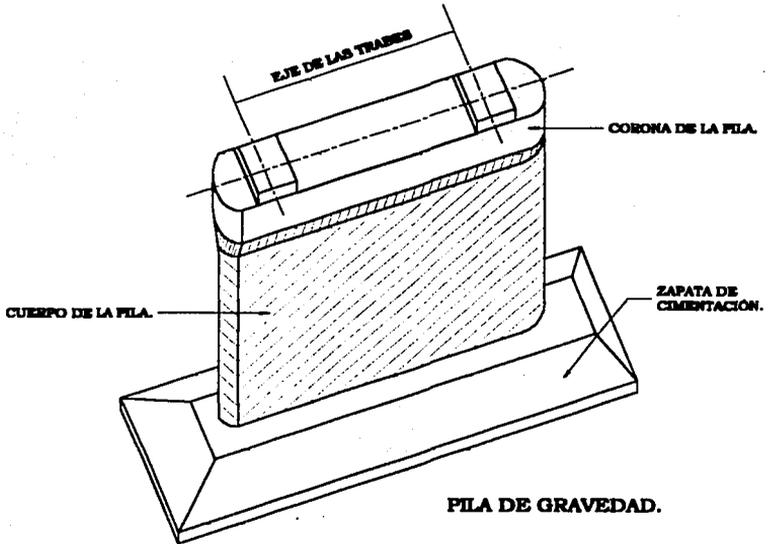


Fig. 5.2.2.8

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**g) Pilas en forma de "T".**

Estas pilas son recomendadas para los casos en que la altura del puente es tal que la pila de gravedad deja de ser económica por los grandes volúmenes de concreto que requiere.

Estas pilas están formadas por un cuerpo vertical ya sea circular o rectangular, macizo o bien hueco, que en la parte superior se amplía a manera de "T" para dar apoyo a las traves longitudinales de la superestructura (fig. 5.2.2.9). este elemento horizontal de soporte se refuerza con varillas horizontales que resisten el momento en cantiliver, y con estribos que resisten el cortante.

El cuerpo vertical de la pila debe estar bien diseñado para soportar los momentos que le son transmitidos por la ampliación superior y su área de acero debe estar limitada a por lo menos el 1% del área de concreto de la sección transversal, lo cual es suficiente para alturas moderadas.

**PILA EN FORMA DE " T "**

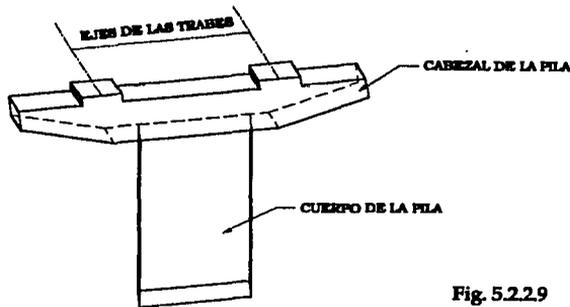


Fig. 5.2.2.9

**h) Pilas en marco.**

Son pilas que se utilizan cuando la altura del puente y las fuerzas horizontales actuantes ocasionen fuertes momentos que en el caso de pilas en "T" requieren de grandes secciones y refuerzo.

Las columnas pueden ser verticales o bien ligeramente inclinadas para aumentar la estabilidad, su sección puede ser uniforme o aumentar de arriba hacia abajo. Para rigidizar la estructura y reducir los efectos de esbeltez de las columnas, se pueden usar traves horizontales. (fig. 5.2.2.10)

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

**PILA EN MARCO.**

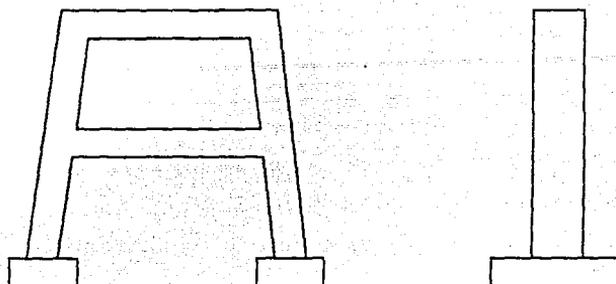
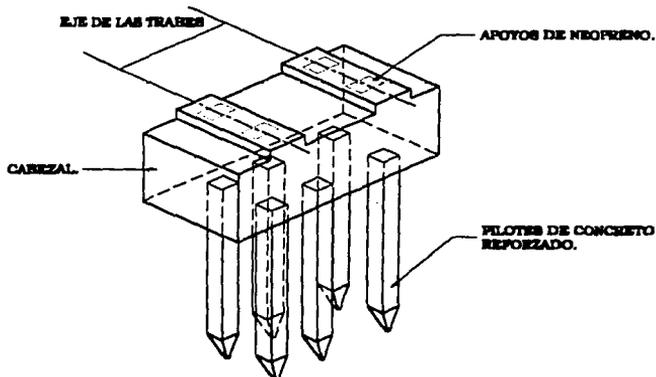


Fig. 5.2.2.10

**i) Pilas formadas por conjunto de pilotes.**

Cuando la altura del puente es baja y para su cimentación se requiere de pilotes, estos se pueden extender y ligar entre sí para dar apoyo a la superestructura (fig. 5.2.2.11)

Algunos de los pilotes se inclinan con la finalidad de dar mayor estabilidad a la estructura a la acción de fuerzas horizontales.



**CABEZAL DE CONCRETO REFORZADO SOBRE PILOTES.**

Fig. 5.2.2.11

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

### 5.2.3 DEFINICIÓN DE ALTERNATIVAS PARA LA SUPERESTRUCTURA.

Finalmente, una vez que se han definido las posibles alternativas de infraestructura y subestructura, toca pues, definir las posibles alternativas de la superestructura, que bien a de ser esta la que reciba directamente todas las cargas vivas.

Para poder definir las posibles alternativas del tipo de superestructura que piensa utilizarse para darle solución a un proyecto específico de puente, es importante analizar las alternativas de cimentación que se hayan propuesto, ya que dependerá en gran parte del tipo de cimentación la determinación del tipo de superestructura que se coloque.

Por otro lado se debe de tener a la mano toda la información detallada y completa de todos los factores que intervienen para que la construcción y el funcionamiento del puente sean los esperados.

El hecho de que se cuente con una buena información nos repercutirá en que podrá realizarse una elección adecuada de la cual depende ampliamente la economía de la obra.

Es por eso que podemos concluir que la elección del tipo de superestructura es el aspecto más importante y a la vez el más difícil de definir en el proyecto de puentes, pues se logra una mayor economía con una buena elección que con refinamientos de diseño.

Los aspectos más importantes que deben de tomarse en cuenta para la definición de buenas alternativas para la elección del tipo de superestructura son:

- 1) *Aspectos topográficos.* Es importante debido a que es en función de la topografía de la zona del cruce se pueden sugerir algunos tipos de superestructuras, además se debe de tomar en cuenta si lo que va a respetarse es el nivel que se tenga de la rasante, o bien la altura estará regida por el nivel de aguas de diseño (N.A.D), evidentemente los tipos de superestructura que se propongan estarán asociados con los posibles tipos de subestructuras y cimentaciones que se hayan definido.
- 2) *Aspectos relacionados con el área bajo el puente.* Esto es en caso de que el diseño valla a estar regido por el nivel de aguas de diseño (N.A.D) ya que en este caso se deberán de tomar en cuenta los requerimientos del área hidráulica bajo el puente, ya que se debe de permitir el paso del gasto de diseño.  
Dentro de este punto entonces se deben de considerar los siguientes factores en relación al paso de los cuerpos flotantes.

- a) *Altura libre vertical:* se define como la altura entre la superficie del agua para el gasto de diseño y la parte inferior de la superestructura; debe de permitirse el paso de cuerpos flotantes. Este factor es de gran importancia, ya que nos puede restringir el peralte de la superestructura en el caso de estar ya fija la rasante del camino.
  - b) *Claro mínimo:* es el claro mínimo que debe haber entre los tramos del puente tales que permitan el paso de los cuerpos flotantes.
- 3) *Aspectos de tránsito.* En este punto deben de considerarse todos aquellos datos relacionados con las condiciones de tránsito local y de largo itinerario, ya que estos podrían hacer variar el ancho de calzada del puente y su capacidad de carga y, a su vez, esto puede variar el tipo de superestructura que se adapte.
  - 4) *Aspectos de construcción.* Se tomarán todos aquellos datos de la zona del cruce que estén relacionados a la construcción futura del puente, tales como materiales disponibles cerca de la zona de la obra, que sean de buena calidad, y además económicos, se deben de tomar en cuenta los soldos y jornales en la región, la factibilidad de sistemas y equipos de montaje, etc.

Esta información en gran medida se puede obtener de los estudios técnicos mencionados en el capítulo IV de este documento.

Con toda la información obtenida anteriormente y con los factores que intervienen para la elección de la cimentación y subestructura bien definidos, se pueden comenzar a determinar las características generales del puente, las cuales pueden ser variadas, así que de esta manera se comienzan a detallar las posibles alternativas de superestructura para el puente..

De la información anterior y de los estudios técnicos se puede decir que contamos ya con:

- Longitudes de los tramos.
- Longitud total.
- Altura mínima necesaria.
- Alternativas de cimentación.
- Alternativas de subestructuras.
- El ancho de calzada.
- El ancho total.
- El tipo de carga móvil de diseño.

Una vez definido lo anterior, podemos comenzar entonces, a definir las posibles alternativas de superestructura, ya que habrá muchos tipos de superestructura capaces de satisfacer las necesidades que estamos requiriendo para nuestro proyecto cumpliendo correctamente, sin embargo, habrá una que presente las mayores ventajas tanto en su construcción, pero sobre todo económicas.

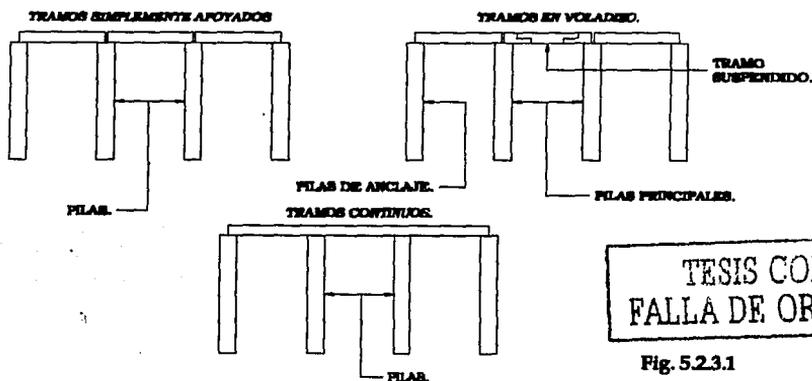
Es por eso que se deben de desarrollar varios anteproyectos, tomando en cuenta siempre los tipos de materiales existentes en la zona, las condiciones de acceso al lugar de la obra y el procedimiento constructivo.

El desarrollo de las posibles alternativas de superestructuras, no es cosa fácil, se lleva a cabo por el conjunto de ingenieros encargados del proyecto, en donde la principal herramienta de la cual se auxilian, es de la experiencia que cada uno de ellos tenga en cuanto al proyecto de puentes, sin embargo en este documento se darán ciertas recomendaciones que se pueden seguir y que pueden servir para facilitar al ingeniero el trabajo de la definición de alternativas una vez que cuenta ya con toda la información necesaria así como de las posibles alternativas de cimentación y subestructura.

### 5.2.3.1 PUENTES DETERMINADOS O INDETERMINADOS ESTÁTICAMENTE.

Cuando el claro por salvar de un puente es lo suficientemente grande para requerir claros de tramos múltiples, el ingeniero proyectista debe elegir entre una superestructura determinada o indeterminada, o bien una indeterminada estáticamente.

Para el primer caso se pueden utilizar una serie de tramos simplemente apoyados, o tramos en voladizo; y para el segundo caso se puede auxiliar de tramos continuos. (fig. 5.2.3.1)



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Fig. 5.2.3.1

Sin embargo, existen varias ventajas de los tramos simplemente apoyados contra los tramos continuos, como lo son:

1. Como la estructura es estáticamente determinada, el análisis es simplificado.
2. Estos tramos pueden utilizarse donde las condiciones de cimentación son deficientes, ya que los asentamientos diferenciales de las pilas no incrementan los esfuerzos en las traveses longitudinales.
3. La erección de estos tipos de puente es más sencilla y rápida.
4. Los tramos pueden ser prefabricados.

Por otro lado, también deben de tomarse en cuenta las ventajas que nos brindan los tramos continuos, sobre los tramos simplemente apoyados, como son:

1. Se puede tener un ahorro considerable de material en la superestructura.
2. Se requiere un menor número de apoyos, ya que es posible realizar tramos mas largos.
3. Con estos tipos de tramos se reducen las vibraciones.
4. Las fuerzas longitudinales en la superestructura pueden ser transmitidas hasta los estribos, en lugar de trasportarlas parcialmente a las pilas.
5. Además, los tramos continuos resisten cargas de ruptura mayores.
6. Las estructuras continuas son ideales para el montaje tipo voladizo.
7. Se requieren menos dispositivos de expansión.
8. Se puede lograr una estética en el puente, debido a la posibilidad de variar la longitud del tramo y del peralte de las traveses.

Respecto a los tramos en voladizo, su construcción es hasta cierto punto sencilla, ya que consiste en dos tramos simplemente apoyados, cada uno con extremos sobresalientes o volados y con otro simplemente apoyado entre los dos extremos en voladizo.

Estos puentes nos permiten aprovechar la simplicidad en cuanto a su análisis estructural como estructura isostática, y las ventajas de un puente continuo. Los puentes en voladizo se comparan muy favorablemente con la construcción continua, solo que en tramos cortos, y por supuesto, la construcción continua será mas económica.

Con estos puentes se tiene la ventaja del montaje en voladizo, además de las ventajas de los tramos simplemente apoyados. Aunque por otro lado, estos puentes tienen la desventaja de ser menos rígidos que los puentes de tramos continuos, requieren conexiones articuladas especiales además de que pueden existir levantamientos en las pilas de anclaje (estribos) y requerirse reacciones muy grandes en las pilas principales.

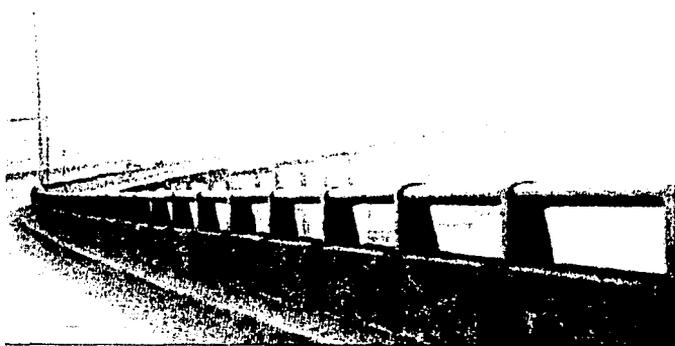
Un puente continuo puede tener dos o mas tramos, sin embargo, cinco tramos continuos son generalmente el máximo de tramos usados, ya que las expansiones y las fuerzas longitudinales en la subestructura generan diversos problemas en puentes largos.

Las superestructuras continuas usuales en puentes, constan de tres tramos, donde el tramo central es de 1/5 a 1/3 veces mas largo que los tramos extremos. En el caso de puentes de dos tramos, los tramos continuos resultan ser solo un poco mas económicos que los tramos simplemente apoyados siendo esta diferencia un tanto insignificativa. La realización de diseños alternativos, y la determinación de sus costos, complementarán la sección entre tramos continuos y simplemente apoyados.

### 5.2.3.2 Puentes de Paso Inferior, Superior y a Través.

Habiamos mencionado que uno de los aspectos importante para la elección del tipo de superestructura, era la necesidad de altura libre vertical bajo la misma y el nivel requerido de la rasante del camino; dando esto origen a los puentes del tipo paso inferior, superior y a través.

Dentro de los puentes de paso inferior, el sistema de piso debe estar conectado a la porción de os miembros principales de carga. Estos puentes son utilizados básicamente cuando existe escasa altura libre vertical entre el nivel de aguas de diseño (N.A.D) y la rasante del camino, de modo que no se pueda alojar en este espacio el peralte, y por razones de construcción del camino se prefiera no modificar el nivel de la rasante.



Puente de paso inferior.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

De igual forma que el caso anterior, si se tienen restricciones por la altura libre vertical y el nivel de la rasante, pero el sistema de piso se conecta en la porción media de los miembros principales de carga y no existe contraventeo encima del tránsito, se dice que el puente es de paso a través. Para reducir el efecto de confinamiento sobre los usuarios de los puentes, los puentes de paso inferior y a través se construyen con armaduras metálicas, de aquí que los puentes de paso a través puentes de armaduras enanas o "puentes pony". Este tipo de puente en la actualidad prácticamente ya no es usado.

En los puentes de paso superior, el sistema de piso esta colocado en la parte superior de los miembros principales de carga, de modo que no se requiere contraventeo sobre su parte superior (por encima de los vehículos). Los puentes de paso superior tienen muchas ventajas sobre los de paso inferior, excepto la de la altura libre vertical debajo de él, a partir de la rasante.

El espacio libre en ambos sentidos es ilimitado, de modo que una expansión futura es más factible. Por otro lado, las armaduras o traveses de apoyo tiene la ventaja de poder colocarse muy cercanas unas de otras, reduciendo los momentos transversales en el sistema de piso, que resulta más simple que en los puentes de paso inferior y a través, ya sin existir la restricción de la altura libre vertical, este tipo de puente es el más usual de los tres por las ventajas que posee sobre los otros, además de ser un tipo de puente mas estético y agradable.



Puente de paso superior.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 5.2.3.3 PUENTES MÓVILES.

Cuando existe la necesidad de realizar un puente que cruce una vía navegable, él o los ingenieros encargados del proyecto tienen la posibilidad de elegir un puente con una gran altura libre vertical que permita el paso del transporte de fluvial o bien elegir un puente con un tramo móvil.

Un puente con gran altura vertical, nos permite el paso del tránsito fluvial sin tener que interrumpir el tránsito de vehículos sobre él.

Sin embargo hay que tomar en cuenta que un puente de gran altura libre vertical, tiene costos iniciales mucho mas grandes, sus accesos requieren de grandes longitudes de desarrollo, tienen pendientes fuertes y pueden obstruir calles en áreas urbanas. Un ejemplo claro de este tipo de puentes es el puente de Tampico.

Los puentes móviles cuya altura libre vertical es pequeña, resulta de costos iniciales menores, requiere de longitudes de desarrollo pequeñas para sus accesos, permiten el paso rápido de los vehículos mientras no este pasando una embarcación, y los costos de operación de los vehículos que lo cruzan, son reducidos.

Por otro lado, estos puentes representan siempre una molestia para el tránsito de vehículos y barcos, siendo un riesgo real para el tránsito terrestre en caso de emergencia para el uso del equipo de bomberos, ambulancias, policía, etc. Además hay que tomar en cuenta que estos puentes requieren gastos adicionales, como el de los operadores que abren y cierran el puente, así como el costo de la maquinaria y la energía requerida para llevar a cabo esta acción.

Los tres tipos de puentes móviles mas usuales son: el giratorio, el puente levadizo vertical, y el puente basculante.

Los puentes giratorios tienen un tramo móvil montado sobre un pivote o plataforma giratoria en su centro.

El puente levadizo vertical consiste en un tramo central el cual es izado verticalmente sobre el área libre de navegación. Este puente se utiliza cuando el espacio libre horizontal requerido es mayor que la altura libre vertical necesaria.

Los puentes basculantes son aquellos en los que el tramo móvil gira verticalmente en sus extremos, generalmente mediante un sistema de contrapeso. Esta solución es satisfactoria cuando se requiere un espacio libre horizontal angosto pero verticalmente alto.

Como podemos darnos cuenta, para darle solución a un problema de un puente, existen muchos factores que debemos de tomar en cuenta, pero así mismo, existen también un sin número de soluciones que para cada caso en específico satisfarían dicho problema, por lo que es necesario llevar a cabo todas las alternativas de solución que existen, para finalmente hacer el análisis de evaluación de cada una de ellas y elegir la mejor alternativa.



**Puente de la Torre de Londres.**

El puente mide 244 metros, fue construido en 1894, es del tipo de puentes basculantes y para ese año era el único puente móvil construido sobre el Támesis.

Ya hemos hablado de la importancia de llevar a cabo varias alternativas o variantes de solución para el proyecto de puentes. sin embargo, hemos visto también que este trabajo no es cosa fácil, y que muchas veces es mas importante la experiencia del ingeniero proyectista.

La tabla que realizamos a continuación (5.2.3) tiene la finalidad de facilitar al ingeniero proyectista el trabajo de selección de alternativas del tipo de superestructura, en la cual se mencionan los claros para los cuales son recomendadas y han sido mas utilizadas, así que esta información mas toda la indicada anteriormente proporcionara la suficiente información para poder llevar a cabo los anteproyectos del puente capaces de satisfacer las necesidades requeridas por un proyecto cualquiera.

De acuerdo al claro, se ha notado que la solución mas eficiente para claros mayores de los 4 metros, es el empleo de traveses longitudinales paralelos al tránsito, soportando una losa cuyo espesor mínimo es de 15 cm; con este criterio, el número de dichas traveses y su separación estará en función del claro máximo que pueda admitir la losa. El refuerzo principal de la losa es perpendicular al tránsito.

Para puentes cuyos claros son menores a los 4 metros, se utiliza una losa maciza, cuyo refuerzo principal es paralelo al tránsito.

En el caso de que el claro sea mayor de 12 metros es económico el uso de vigas de concreto presforzado; esta solución facilita el uso de vigas prefabricadas, placas y losa colocada en sitio, aunque se debe tener cuidado, ya que el uso de las vigas se limita a unos metros por problemas de transporte.

TESIS CC  
FALLA DE ORIGEN

| <b>Tipo de Superestructura.</b>                 | <b>Claros.</b>        |
|---|-----------------------|
| <b>Puentes de concreto reforzado.</b>           |                       |
| Losa plana maciza                               | Hasta 10 metros.      |
| Losa plana aligerada                            | De 9 a 20 metros      |
| Losa nervurada                                  | De 15 a 30 metros.    |
| Vigas sección "T"                               | De 9 a 25 metros.     |
| Vigas sección cajón. Simplemente apoyadas.      | De 25 a 35 metros.    |
| Vigas sección cajón continuas.                  | De 25 a 45 metros.    |
| <b>Puentes de concreto presforzado.</b>         |                       |
| Vigas simples                                   | De 15 a 30 metros.    |
| Vigas compuestas                                | De 25 a 45 metros.    |
| Vigas sección cajón. Simplemente apoyadas.      | De 30 a 50 metros.    |
| Vigas sección cajón. Continuas.                 | De 30 a 60 metros.    |
| <b>Puentes de acero.</b>                        |                       |
| Viguetas laminadas de una sola pieza.           | De 8 a 12 metros.     |
| Vigas simples de perfil laminado.               | De 10 a 15 metros.    |
| Vigas de placa compuesta. Simplemente apoyadas. | De 20 a 40 metros.    |
| Vigas de placa compuesta. Continuas.            | De 30 a 70 metros.    |
| Viguetas laminadas con uniones soldadas.        | De 30 a 50 metros.    |
| Vigas de placa presforzadas.                    | De 30 a 45 metros.    |
| Vigas de sección cajón. Simplemente apoyadas.   | De 30 a 50 metros.    |
| Vigas de sección cajón. Continuas.              | De 40 a 80 metros.    |
| Armadura simple.                                | De 45 a 180 metros.   |
| Armadura continua.                              | De 75 a 240 metros.   |
| Armadura en voladizo.                           | De 150 a 550 metros.  |
| <b>Otros tipos.</b>                             |                       |
| Tridilosa. Simplemente apoyada.                 | De 9 a 60 metros.     |
| Tridilosa. Continua                             | De 25 a 70 metros.    |
| Armadura en arco.                               | De 30 a 550 metros.   |
| Atirantados.                                    | De 150 a 400 metros.  |
| Colgantes.                                      | De 300 a 1500 metros. |

Tabla 5.2.3.



No dejes que lo urgente no te  
de tiempo para hacer lo  
importante.

**Confucio.**

# VI) EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

1917

---

## VI) EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS.

### 6.1 ASPECTOS FUNDAMENTALES EN LA EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS.

Una vez que se cuentan con todas las alternativas que satisfacen en buena medida el problema que se presentan, se debe llevar a cabo todo un análisis que nos de cómo resultado la elección del tipo de puente carretero para el camino que se trate, y para ello este análisis debe de tomar en cuenta todos los aspectos fundamentales que intervienen o que deben de tomarse en cuenta en la evaluación de las alternativas.

Primeramente, se ordenan los anteproyectos realizados dependiendo del número de proyectos (alternativas) con los que se cuente entre mas anteproyectos se tengan, se tendrán mas opciones para elegir, aunque, por otro lado, se complica la elección de la alternativa óptima.

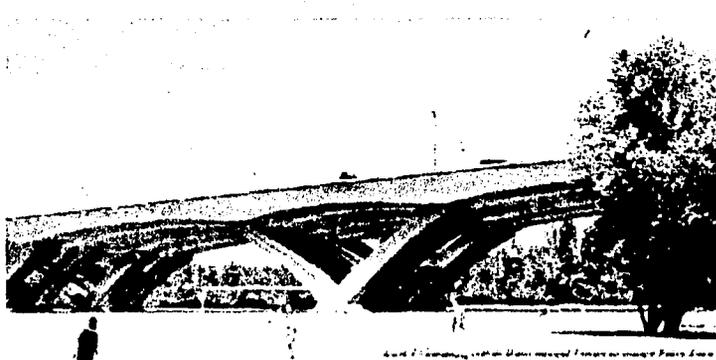
Los aspectos más importantes que se toman en cuenta para llevar a cabo la elección final del tipo de puente son los siguientes, y se ordenan de acuerdo a la importancia y peso con que influyen cada uno de ellos:

1. Aspecto económico - financiero.
2. Aspecto funcional y de construcción.
3. Aspecto estético de la estructura.

Los dos primeros aspectos son lo que tienen la mayor importancia para la elección final del proyecto, ya que en lo que se refiere al aspecto estético, hay que en muchas ocasiones y sobre todo en el caso de puentes, existen estructuras que estéticamente son muy bellas, pero generalmente estas resultan de costos muy elevados, y si existe una propuesta mas económica, cae en la posibilidad de invertir tal vez un poco mas para hacer un trabajo un tanto mas estético.

En nuestro país el aspecto más importante que se toma en cuenta en el análisis de evaluación de las alternativas es el económico - financiero, por lo tanto, es obvio que se elegirá generalmente aquel anteproyecto que resulte mas económico, claro que esto no sucede siempre, por lo que es necesario llevar a cabo la evaluación de alternativas, ya que puede darse el caso en que el aspecto funcional y de construcción resulte mas importante y sea el que finalmente influya en la elección de la alternativa mas conveniente.

Debemos estar conscientes de que no es fácil establecer reglas o normas que puedan llevar al ingeniero a elegir el tipo óptimo de alternativa en el proyecto de puentes, pero puede normarse el criterio en base a la experiencia en el proyecto y construcción, y el conocimiento del análisis de precios unitarios, ya que esto le dará una idea general de lo que realmente se requiere, evitándose así la realización de trabajo extra.



Puente de concreto tipo arco.

Desde un principio él o los ingenieros encargados del proyecto, al inicio del diseño del puente, deben de ir haciendo una selección en base a las ventajas y desventajas que pueda tener dicha alternativa que se este proponiendo, y si es el caso bien pudiera eliminarse una alternativa desde esas instancias y evitarse trabajar extra ahorrando tiempo, así para cada caso en que se comience cierto diseño.

Debido a que cada caso es diferente, porque cada sitio es diferente, como mencionábamos anteriormente, el peso de las ventajas y desventajas no será el mismo para distintos puentes.

El análisis de todos los aspectos debe ser un análisis minucioso, que nos lleve a tener bien en claro todas las ventajas y desventajas de cada una de las alternativas, los costos que cada una de ellas generarán tanto para su construcción, conservación o mantenimiento y de operación si es que fuera necesario; además de revisar el aspecto funcional y de construcción, ya que debe revisarse cual de las alternativas es la que nos brinda las mejores facilidades para llevar acabo su construcción, además de analizar cual de estas es la que brinda las mayores ventajas en cuanto al funcionamiento, es decir, cual de ellas funcionará mejor, si requieren o no un mantenimiento continuo, si este es de bajo costo o bien es muy costoso, y finalmente si requerirá de ciertos costos de operación, es decir si habrá algún costo extra que deba ser necesario mientras el puente este en operación.

Generalmente los costos de operación son lo que son costos por alumbrado, drenaje, y en el caso de los puentes móviles los costos que se originan de los sueldos para el personal encargado del control y manejo de la tecnología que realizará el trabajo para llevar a cabo los movimientos de la superestructura.

Todo esto debe ser analizado detenidamente, para que finalmente todos los resultados obtenidos sean comparados entre las alternativas propuestas y nos permitan realizar la mejor elección de un anteproyecto (la mejor elección del tipo de puente).

TESIS COM  
FALLA DE CALLE

## 6.2 CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS.

Como habíamos mencionado anteriormente, es muy difícil crear normas que deban seguirse al pie de la letra y que nos permitan llegar a una elección óptima del tipo.

Por lo tanto podemos concluir que para definir el tipo será muy importante la experiencia que pueda tener el o los ingenieros encargados del proyecto, así como del conocimiento que se pueda tener de la cantidad de material disponible en la zona donde se lleve a cabo la obra, de la experiencia que tengan en cuanto a costos unitarios, las condiciones de trabajo que existan dependiendo del lugar o región, así como de los procedimientos constructivos que se propongan para cada anteproyecto.

Sin embargo, podemos decir, que los dos primeros aspectos mencionados en el punto 6.1, son en los que finalmente se basará la elección del tipo de puente, por lo que esos puntos se verán a continuación mas detalladamente y en apartados especiales.

### 6.2.1 ASPECTO ECONÓMICO - FINANCIERO.

El aspecto económico - financiero es el aspecto mas importante y por lo tanto el que generalmente tiene el mayor peso en la elección de la mejor alternativa de tipo puente carretero.

Cuando se va a proyectar un puente nuevo, sin importar el tipo de camino para el cual valla a proyectarse el tipo de puente, el gobierno tiene ya destinado un presupuesto para darle solución a dicho problema, por ello es que la elección del tipo depende en gran parte de la economía de la obra.

El aspecto económico - financiero es el que llevará a cabo el análisis de costos de cada una de las alternativas, en donde deberá de tomarse en cuenta el total de la inversión que generará la obra en su construcción, los costos que la obra generará durante su vida económica (que es el tiempo que transcurre para que los beneficios iguallen a los costos de la estructura) como son los de operación y mantenimiento.

Se analiza de esta manera porque se considera que será el tiempo en que la estructura prácticamente se habrá pagado por si sola, y a partir de ese momento empezara el periodo de remuneración de la estructura.

Es entonces cuando debe analizarse los beneficios o ganancias económicas que generará cada una de las alternativas, para ello entonces, se realiza el análisis económico de la estructura a lo largo de la vida útil de la misma (es el tiempo para el cual se considera que la estructura funcionará en buenas condiciones, brindando comodidad y sobre todo seguridad).

Deberá hacerse un análisis de riesgos, ya que todas las obras de ingeniería, requieren de una inversión, la cual se debe recuperar en un plazo de tiempo determinado, para el caso de puentes no es la excepción, y como para cualquier otra obra, siempre existe un grado de incertidumbre, por ello se deben evaluar los riesgos que pueden correr la inversión de tal manera que las cosas no salgan como se tenía pensado.

En el caso de la construcción de puentes, debe llevarse a cabo, ya que se corre el riesgo de que existan problemas en la obra, como lo son accidentes, retrasos, desperdicios, etc., y todos estos problemas al final de cuentas se traducen en dinero, y se debe de considerarse que para cada anteproyecto que se revise, el resultado del análisis será diferente, y por lo tanto el resultado económico será mayor o menor entre uno y otro anteproyecto. Este resultado incrementará el costo supuesto para cada caso.

Como podemos observar, matemáticamente podemos evaluar o calcular aproximadamente lo que representa cada una de nuestras alternativas de puente económicamente, y finalmente ese valor numérico final que nos de cómo resultado es el que se tomará en cuenta con una gran importancia para la elección final.

### **6.2.2 ASPECTO FUNCIONAL Y DE CONSTRUCCIÓN.**

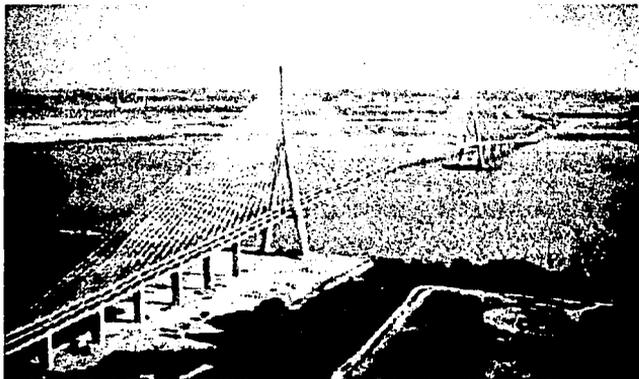
El aspecto funcional y de construcción, no es mas que el análisis técnico de cada uno de los anteproyectos, mediante el cual se evalúan los aspectos funcionales y los procesos constructivos.

Dentro del aspecto funcional, simplemente se evalúan las alternativas, de acuerdo al funcionamiento de cada una de ellas al momento de comenzar a trabajar, el cual debe ser eficaz y sobre todo con gran seguridad, se revisan los efectos posteriores que pudieran generarse en la estructura, ya sea por el paso del tiempo, o bien por la aplicación de posibles fenómenos como el viento y el sismo, sin llegar a hacer un análisis estructural, que solo robaría tiempo, es por eso que nuevamente depende en gran medida de la experiencia del ingeniero especialista en este aspecto.

Por otro lado, debe analizarse también el proceso constructivo, en este punto se analiza de acuerdo a cada anteproyecto puntos como la rapidez o fluidez en la construcción, esto está íntimamente ligado a una investigación previa que debe realizarse, la cual nos proporcionará datos como la factibilidad de encontrar material en un poblado cerca del lugar de la obra, datos sobre la mano de obra de la zona, lo cual nos dirá si es factible encontrar buena mano de obra además de proporcionarnos datos sobre los sueldos predominantes en el lugar; en caso de que de acuerdo al tipo de anteproyecto se requieran pretensados, pues habrá que ver la factibilidad de conseguirlos, o bien si habrá que llevarlos de zonas mas lejanas y finalmente si no existirán problemas para que el transporte que las cargue pueda llevarlas a pie de la obra.

Como podemos observar estos aspectos son los que decidirán que tan factible es o no cada uno de los anteproyectos, y sus resultados pueden tener repercusiones en el aspecto económico, de ahí su importancia.

El **aspecto estético** es un aspecto que en los últimos años esta adquiriendo una mayor importancia ya que no solo se busca que un puente sea funcional, si no que también sea de buena apariencia, y esto se le puede dar con diversas técnicas, todo con tal de que el puente a parte de ser eficaz, también sea agradable a la vista.



La belleza de un puente atirantado.

Cabe mencionar que existen algunos parámetros de gran importancia y que merecen una atención especial con la finalidad de satisfacer en general, las condiciones de funcionamiento, de seguridad y de estética.

- a) **Estructurales:** Dentro de este parámetro debe de considerarse la ubicación del puente, si estará ubicado en una zona sísmica, o con mucho viento, para utilizar los factores de seguridad que sean necesarios de acuerdo a las normas, debe de considerarse también el tipo de carga por transportar, y verificar la existencia cercana de laboratorios para el control de calidad.
- b) **Político-económicos:** Se debe considerar una estandarización con estructuras cercanas, es decir, aprovechar moldes de materiales y equipo en general, para optar por una solución en la que sean aprovechados dichos elementos. A su vez se incluyen las interferencias posibles por la ejecución de las obras y su recuperación político-económica que afecta directamente en la velocidad de ejecución de la obra. Por último no hay que olvidar las posibles afectaciones que la obra pueda ocasionar.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

- c) **Estéticos:** Debemos obedecer dependiendo del sitio donde este ubicada la obra, por ejemplo, si es una zona turística, colonial o de otra índole, y de esta manera, tratar de seguir con el mismo tipo de arquitectura en estructuras para un mismo tramo o región.
- d) **Técnicos:** En este punto se debe investigar si existe maquinaria disponible para la ejecución de la obra, si existen problemas por el clima (para la elección de materiales), soluciones para nivel de aguas frías o mínimas y un aspecto muy importante que es, como habíamos mencionado, el conocimiento del elemento humano disponible.

Estos parámetros son muy importantes, y forman parte de la información original que debemos tener desde el principio, por lo que no requieren de un gran análisis.

Existen otras consideraciones que deben de ser tomadas en cuenta al momento de hacer la elección del tipo, las cuales las hemos separado de acuerdo a la parte de la estructura del puente a la que pertenezcan con el fin de facilitar su estudio.

a) **Infraestructura:**

Una vez que se tiene el informe del estudio de Mecánica de Suelos, en donde se presentan las recomendaciones de cimentación, en base a ello se proponen los posibles tipos de infraestructura que, el suelo disponible debe sostener a la cimentación sin que exista falla o colapso, y además que no tenga durante su vida útil asentamientos de tipo diferencial o expansiones que interfieran con la función de la estructura.

b) **Subestructura:**

Tratándose de la subestructura, esta la podemos dividir en lo que son los apoyos extremos y los apoyos intermedios.

En lo que se refiere a los apoyos extremos, existen los **estribos**, los cuales se utilizan generalmente cuando:

- No conviene que el terraplén de acceso derrame hacia el frente.
- La mecánica del suelo permita que se haga una cimentación superficial, o en el caso de que deba ser cimentación profunda, usar estribos de concreto reforzado.
- Sea conveniente reducir la longitud del paso o reducir afectaciones.
- La altura del estribo no exceda los 12.0 metros si trabaja por gravedad, ya que resulta antieconómico.

De acuerdo al material del que están contruidos, los estribos se construyen de mampostería cuando abunda la piedra, hay mano de obra económica y la obra no requiere de rapidez de construcción, además de que no se dispone de suficiente equipo de construcción.

El concreto ciclópeo es utilizado generalmente cuando abunda la piedra pero la mano de obra no es tan económica, además de disponer de algo de equipo, su proceso constructivo es un poco mas veloz que el de los estribos de mampostería.

El concreto en masa se utiliza en las mismas condiciones que el anterior, pero usando cimbra, que se usa cuando son repetitivos los elementos y es más rápido porque se utiliza el mismo molde.

La utilización del concreto simple, es requerida cuando resulta imposible localizar piedra, pero si arena y graba a buen precio.

El concreto reforzado se utiliza cuando se requieren secciones esbeltas con menor volumen de material, utilizando menos cantidad de concreto, mano de obra calificada y equipo. No requiere piedra, pero si un diseño mas moderno.

Los estribos de tierra armada, se utilizan cuando es fácil conseguir la patente; cuyos beneficios son, menor reforzamiento del suelo para instalar, la construcción es más rápida, y no requiere tanta maniobra de comenzar y de parar en la operación del relleno.

De igual manera, los **caballetes** son apoyos extremos que permiten el derrame de terraplén, estos se utilizan cuando:

- Cuando por la altura dl apoyo extremo no es económicamente conveniente contener el terraplén de acceso, el inconveniente es que se requiere mayor longitud de claro del paso.
- Se permite que el terraplén de acceso continúe su trayectoria, ya que no afecta al camino que pasa por debajo de la estructura, por ser un material fácil de compactar, además de contar con el espacio suficiente para controlar el derrame del talud.

Por el material del que están contruidos, los caballetes pueden ser de acero estructural, aunque ene nuestro país son poco usados debido a que generalmente resulta mas económico el concreto reforzado que el acero estructural, además de que el acero requiere mantenimiento continuamente, el cual es costoso. Se llegan a emplear en casos muy especiales, cuando se requieren estructuras de poco peso y grandes claros.

Los caballetes de concreto reforzado, son los mas usados en nuestro país, debido a que son esbeltos, resistentes y mas fáciles de manejar.

Los caballetes de tierra armada tienen las mismas características que los estribos, solo que estos se componen de muros que desempeñan las funciones de las columnas.

Los apoyos intermedios pueden ser constituidos por caballetes intermedios, o bien por pilas.

Los **caballetes intermedios**, tienen las mismas características que los anteriores, y se utilizan generalmente cuando:

- Se requiere reducir el claro.
- Se tienen grandes alturas del puente.
- No existe piedra en la zona y su transportación resulta muy costosa.

Sin embargo, es mucho mas usual el utilizar las **pilas** como apoyos intermedios, ya que son un poco mas fáciles en su manejo, y su construcción es mas rápida.

De acuerdo al material utilizado para la construcción de las pilas estas se fabrican de mampostería siempre que se tiene una altura razonable en dichos elementos, ya que con grandes alturas, se tendrían volúmenes excesivos de material, obteniéndose secciones exageradas, muy pesadas, que requieren de suelos de cimentación muy resistentes. Actualmente son muy poco usadas por la lentitud de su construcción, por tratarse de grandes volúmenes, que dan la impresión de puentes viejos, y por sus altos costos.

Las pilas de concreto en masa o concreto ciclópeo, no se utilizan por ser anticestéticas, además de que compiten con el concreto reforzado, siendo este último menos voluminoso.

Las pilas de concreto reforzado, son utilizadas cuando se requiere mayor soporte, aunque es muy común verlas cimentadas sobre pilotes o sobre cilindros, por lo que simultáneamente se trata de reducir el peso del cuerpo de la pila. Por lo tanto el cuerpo de la pila debe ser de concreto y sigue funcionando como elemento de gravedad, sus dimensiones serán bastante reducidas de acuerdo a las fatigas admisibles del concreto, mucho mayores que en el caso de la mampostería.

### c) Superestructura.

En cuanto a la evaluación de las alternativas de superestructura, debemos de estudiar dos aspectos que son muy importantes, que son: el espacio libre vertical y los claros económicos.

- En el espacio libre vertical, es necesario considerar la altura de seguridad que permite el paso de los cuerpos, que sin el debido gálibo podrían dañar la superestructura del paso.

- El claro económico, es la relación del costo de la superestructura con la subestructura, este varía dependiendo del tipo de cimentación y el ancho de calzada del camino inferior.

Por ejemplo, si las condiciones de cimentación son buenas, y otras características del sitio indican tramos medios o largos una estructura continua resultará menos costosa. Para tramos cortos solo hay una pequeña diferencia en el costo, y la velocidad y sencillez de la erección puede favorecer el uso de tramos simplemente apoyados.

En el caso de que se utilicen elementos prefabricados, los tramos simplemente apoyados son los usados mas frecuentemente. Las vigas de concreto coladas en sitio pueden ser fácilmente formadas como vigas continuas, y el ahorro en peso y una mas agradable apariencia (con vigas de peralte variable) son ventajas definitivas que se ganan con su uso.

En el capítulo anterior, se describe en la tabla 5.2.3, las superestructuras mas usadas de acuerdo al claro que se quiera salvar, esto es lógico cuando decimos que el tipo de superestructura depende directamente del claro. A continuación se describen algunas recomendaciones para los diferentes tipos de superestructura.

### **Concreto reforzado.**

Dentro del concreto reforzado, puede utilizarse una **losa plana maciza**, la cual se emplea cuando la obra falsa no es muy alta y los claros no exceden de los 14.0 metros, ya que de ser mayores no soportan su propio peso y no dan le peralte adecuado. La ventaja, es que es de poco peralte por lo que la altura de la rasante es menor y por consiguiente lo es también la altura de los terraplenes.

También suele utilizarse la **losa plana aligerada**, esta se acostumbra cuando la cimbra no es muy alta, es mayor el peralte que en la losa plana maciza, y se trata de mayores claros.

La **losa nervurada**, o sobre traveses reforzadas permite cubrir claros mayores. puesto que las nervaduras soportan el peso de la losa lo cual permite aligerarla disminuyendo el peralte. Son muy recomendables para condiciones en que la cimbra sea de poca altura.

Existe también la **losa celular o cajón de concreto reforzado**. Este tipo de losa resulta económica para claros de hasta 50 metros, y aunque es mas costosa que la losa sobre traveses, en estructuras curvas tiene la ventaja de ser un elemento con mayor resistencia a la torsión.

### **Concreto presforzado.**

Las estructuras de **concreto presforzado** se utilizan frecuentemente cuando se requiere rapidez de obra, ya que se pueden prefabricar las traveses con anterioridad o simultáneamente y no requieren de cimbra en sitio. Son convenientes para estructuras altas.

Respecto a la losa sobre traves, puede ser colada totalmente en sitio fijando los moldes de colado de la misma en las traves para evitar la obra falsa desde abajo, o bien emplear un molde a base de losas precoladas que se colocan entre traves y hacen un colado en sitio sobre estas. Se calculan de manera que las losas y losas precoladas en sitio trabajen en conjunto.

Las traves presforzadas, debido a su sistema de presfuerzo pueden ir pretensadas o postensadas, tienen las mismas características de carga, que las de concreto reforzado, se aconseja pretensadas cuando el acceso a la obra sea fácil y su transporte no sea muy costoso.

Las traves pretensadas tienen un mejor control de calidad, ya que se construyen en planta y se cuenta con partes de laboratorio y equipo de presfuerzo de mejor calidad del que se puede obtener en campo. Teniendo el inconveniente en algunos casos, del costo del flete y limitaciones de longitud que se le presenta al transporte especializado, por lo que se recomienda que no sean mayores de 24.0 metros.

Las traves postensadas, tienen como ventaja máxima el poder construir las en la obra con la longitud deseada, son coladas en sitio, lo que evita probables riesgos y ahorra el costo del flete. Siendo su inconveniente máximo el control de calidad, ya que se construye con equipo y laboratorios de campo; requieren una especial atención en la inyección de sus ductos y el sellado de los anclajes, ya que de ello depende reducir la vida útil de la pieza o no, esto por la posible oxidación del anclaje.

### **Acero estructural.**

La colocación de **losas sobre traves de acero** tiene como ventajas su fácil colocación y el peso propio es reducido, es recomendable cuando se tienen limitaciones de espacio libre vertical sobre la estructura.

En cuanto a sus desventajas, esta que requiere mayor mantenimiento y en caso de clima húmedo se debe evitar su oxidación, protegiéndolas con pintura anticorrosiva.

Existen otros tipos de superestructura que llegan a usarse, pero que su análisis es especial, ya que dependen de otros parámetros que deben someterse a un estudio, sin embargo de llegarse a proponer, deberá ser sometida de igual manera a una evaluación junto con las demás alternativas, tanto de costo como de funcionamiento.

En lo que se refiere al equipamiento, podemos decir que es necesario que las cubiertas de los puentes carreteros, presenten superficies de rodamiento cómodas y bien drenadas; que los puentes de gran longitud deben estar dotados de luces de carretera y de servicios de emergencia; y que las barandillas de protección deben mantener a los vehículos dentro de sus carriles y, de ser necesario, contar con líneas de separación entre vehículos y peatones.

### 6.3 SELECCIÓN FINAL.

Finalmente, llega el momento de hacer la elección final del tipo de puente carretero, para la cual se toman en cuenta todos los parámetros que hemos mencionado, luego de haber analizados todos los anteproyectos para los cuales se ha estimado el costo de construcción, operación y mantenimiento, se analizado todas las facilidades de tener equipo suficiente en la obra, de contar con proveedores de material cercanos, de conseguir una mano de obra calificada.

Sumado a todos estos aspectos se ha llevado a cabo el análisis del aspecto funcional y del proceso constructivo, el cual nos dice cual de las alternativas es la que tendrá un mejor funcionamiento, cual de estas presenta el trabajo mas sencillo de cálculo estructural y cual de ellas es la que presenta el proceso constructivo mas eficaz, rápido y sencillo, y que genera las menores afectaciones al medio externo a la obra.

De todos estos resultados finalmente se hace la elección final del tipo, eligiendo por supuesto la alternativa que presente la solución mas funcional, económica, durable, segura, de bajo mantenimiento, de rapidez de obra y que emplee el menor número de recursos materiales, humanos y equipo.

Quedará a la experiencia de los ingenieros encargados del proyecto, el uso del anteproyecto como base para el proyecto definitivo, aunque uno de los objetivos del haber hecho todo un estudio de alternativas y de haber realizados buenos anteproyectos es el que estos puedan ser utilizados para la realización del proyecto definitivo ya que se han apegado a las necesidades.



# VII) CONCLUSIONES.

Si no propones una solución,  
entonces formas parte del  
problema.

**Lenin.**



---

## VII) CONCLUSIONES.

Los estudios técnicos tienen una finalidad específica, ya que la información obtenida de estos, posteriormente será utilizada para la realización tanto del anteproyecto, como del proyecto final, todo esto con el objetivo de lograr el buen funcionamiento del camino, y en un caso muy particular el buen funcionamiento de nuestro puente.

Como hemos podido observar a lo largo de este trabajo, para llegar a la elección de la mejor alternativa del tipo de puente carretero, es necesario llevar a cabo una serie de estudios que involucran a diversas áreas de la ingeniería civil, por lo que dichos estudios cobran una tal importancia, que algún error en alguno de ellos podrían acarrear problemas desde el momento de la realización de los anteproyectos.

Por otro lado, pero muy relacionado a esto, podemos darnos cuenta de lo importante que resulta también, la obtención de la mayor información posible del sitio en donde va a construirse la obra, y que para ello, este trabajo debe de realizarse con toda seriedad, ya que con los datos obtenidos, muchas de las veces se llevan a cabo los estudios, pruebas y cálculos que nos permiten conocer el posible comportamiento de la naturaleza en determinado lugar. Además, el con esta información podemos darnos cuenta si existe alguna comunidad por muy pequeña que esta sea, pero que pueda ser afectada con las obras que se vallan a llevar a cabo en la construcción de la obra.

Podemos darnos cuenta, de que mientras mejor trabajen en conjunto todos los ingenieros y técnicos que tienen la responsabilidad del buen funcionamiento de la obra por construirse, mejores serán los resultados, tomando en cuenta que debe existir una comunicación constante entre ellos, con la finalidad de que se despejen todas las dudas que puedan existir en cualquiera de las áreas de trabajo.

Sin embargo, es cierto que tanto la realización de un anteproyecto como la posible elección de alternativa, depende en gran medida de la experiencia personal que tenga el ó los ingenieros encargados del proyecto, y que sin duda alguna dicha elección será la mejor en todos los aspectos.

La experiencia que tengan los ingenieros encargados del proyecto será un factor importante tanto para que el desarrollo de los anteproyectos como para el análisis, sin embargo, los parámetros que en este trabajo se desarrollan de manera explícita y concisa, tanto para la elaboración de los anteproyectos, como para el análisis de evaluación de alternativas, serán de utilidad tanto para ingenieros experimentados en el área de los puentes, como para ingenieros que comienzan a desarrollarse en dicha área, para quienes este documento les servirá como guía y recordatorio de los diversos temas de la ingeniería que se ven involucrados en el "proceso de elección de la mejor alternativa del tipo de puente carretero".



---

## BIBLIOGRAFÍA

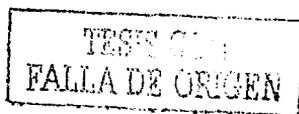
- Ing. E. Torroja.  
**"RAZÓN Y SER DE LOS TIPOS ESTRUCTURALES"**  
Ed. Instituto E. Torroja.  
Madrid, España 1980.
- Cedric Iván Escalante Sauri  
**"CONSTRUCCIÓN DE PUENTES EN TABASCO"**  
Secretaría de Comunicaciones y Transportes.  
México 1991
- Cedric Iván Escalante Sauri  
**"TRANSPORTES Y COMUNICACIONES EN EL DESARROLLO DEL ESTADO DE VERACRUZ"**  
Secretaría de Comunicaciones y Transportes  
México 2000
- Fritz Leonhardt  
**"ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO"**  
Ed. El Ateneo  
Argentina 1992
- Instituto Mexicano del Transporte  
**"SEMINARIO INTERNACIONAL DE PUENTES"**  
Secretaría de Comunicaciones y Transportes  
México 1991
- Dirección General de Servicios Técnicos  
**"NORMAS TÉCNICAS PARA EL PROYECTO DE PUENTES CARRETEROS"**  
**TOMO I**  
Secretaría de Comunicaciones y Transportes  
México 1984

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

- 
- Dirección General de Servicios Técnicos  
**"NORMAS TÉCNICAS PARA EL PROYECTO DE PUENTES CARRETEROS"**  
**TOMO II**  
Secretaría de Comunicaciones y Transportes  
México 1984
  
  - Juárez Badillo - Rico Rodríguez  
**"MECÁNICA DE SUELOS"**  
**TOMO I**  
Ed. Limusa  
México Tercera Edición
  
  - Ing. Ignacio E. Hernández Quinto  
**"APUNTES DEL PROYECTO DE PUENTES (PROYECTO DEL PUENTE)"**  
Facultad de Ingeniería - U.N.A.M.  
División de Educación Continua.  
México 2000
  
  - Ing. Roberto Hernández Islas  
**"APUNTES DEL PROYECTO DE PUENTES (ESTUDIOS GEOTÉCNICOS)"**  
Facultad de Ingeniería - U.N.A.M.  
División de Educación Continua.  
México 2000
  
  - Ing. Sergio G. Herrera del Angel  
**"APUNTES DEL PROYECTO DE PUENTES (INGENIERÍA DE TRÁNSITO)"**  
Facultad de Ingeniería - U.N.A.M.  
División de Educación Continua.  
México 2000
  
  - Oscar M. González Cuevas y Francisco Robles Fernández-Villegas  
**"ASPECTOS FUNDAMENTALES DEL CONCRETO REFORZADO"**  
Ed. Limusa  
México Tercera Edición

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

- 
- Dirección General de Conservación de Carreteras.  
Sistema de Puentes en México ( SIPUMEX )  
**"GUÍAS PARA LA SUPERVISIÓN DE CONSTRUCCIÓN DE PUENTES"**  
Secretaría de Comunicaciones y Transportes  
México 1996
  - Cal y Mayor Rafael.  
**"INGENIERÍA DE TRÁNSITO"**  
Representaciones y Servicios de Ingeniería S.A.  
México Tercera Edición
  - Asociación Mexicana de Caminos.  
**"MANUAL DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA DE TRÁNSITO"**  
Representaciones y Servicios de Ingeniería S.A.  
México 1974
  - Fernando García Márquez  
**"TOPOGRAFÍA APLICADA"**  
Ed. Concepto.  
México 1977
  - Armando Rojas Joo  
**TESIS: "GENERALIDADES DE LOS ESTUDIOS TOPOHIDRÁULICOS  
PARA PROYECTO DE PUENTES"**  
U.N.A.M. - ENEP Aragón.  
México 1999





---

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

---

**ACOTAMIENTO.** - Faja contigua a la calzada, comprendida entre su orilla y la línea de hombros de la carretera o, en su caso, la guarnición de la banqueta o de la faja separadora.

**ALINEAMIENTO HORIZONTAL.** - Proyección del eje de proyecto de una carretera sobre un plano horizontal.

**ALINEAMIENTO VERTICAL.** - Proyección del desarrollo del eje de proyecto de una carretera sobre un plano vertical.

**AMPLIACIÓN EN CURVA.** - Incremento al ancho de la corona y de calzada, en el lado interior de las curvas del alineamiento horizontal.

**BANQUETA.** - Faja destinada a la circulación de peatones, ubicada generalmente a un nivel superior al de la calzada.

**BOMBEO.** - Pendiente transversal descendente de la corona o subcorona, a partir de su eje y hacia ambos lados, en tangente horizontal.

**BORDILLO.** - Elemento que se construye sobre los acotamientos, junto a los hombros de los terraplenes, para evitar que el agua erosione el talud del terraplén.

**CALZADA.** - Parte de la corona destinada a tránsito de vehículos.

**CERO.** - En sección transversal, punto de intersección de las líneas definidas por el talud de terraplén o del corte o terreno natural.

**CONTRACUNETA.** - Canal que se ubica arriba de la línea de ceros de los cortes para interceptar los escurrimientos superficiales del terreno natural.

**CORONA.** - Superficie terminada de una carretera, comprendida entre sus hombros.

**CUNETA.** - Canal que se ubica en los cortes, en uno o en ambos lados de la corona, contiguo a la línea de hombros, para drenar el agua que escurre por la corona y/o el talud.

**CURVA CIRCULAR HORIZONTAL.** - Arco de circunferencia del alineamiento horizontal que une dos tangentes consecutivas.

**CURVA ESPIRAL DE TRANSICIÓN.** - Curva del alineamiento horizontal que liga una tangente con su curva circular, cuyo radio varía en forma continua, desde infinito para la tangente hasta el de la curva circular.

**CURVA VERTICAL.** - Arco de parábola de eje vertical que une dos tangentes del alineamiento vertical.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

---

**CURVA VERTICAL EN COLUMPIO.** - Curva vertical cuya concavidad queda hacia arriba.

**CURVA VERTICAL EN CRESTA.** - Curva vertical cuya concavidad queda hacia abajo.

**DEFENSA.** - Dispositivo de seguridad que se emplea para evitar, en lo posible, que los vehículos salgan de la carretera.

**DERECHO DE VÍA.** - Superficie de terrenos cuyas dimensiones fija la Secretaría, que se requiere para la construcción, conservación, reconstrucción, ampliación, protección, y en general, para el uso adecuado de una vía de comunicación y/o de sus servicios auxiliares.

**DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE ENCUENTRO.** - Distancia de seguridad mínima necesaria para que en caminos de un solo carril, los conductores de dos vehículos, que circulan en sentido contrario, se puedan detener antes de encontrarse.

**DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA.** - Distancia de seguridad mínima necesaria para que un conductor que transita a la velocidad de marcha sobre pavimento mojado, vea un objeto en su trayectoria y pueda parar su vehículo antes de llegar a él.

**DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE REBASE.** - Distancia mínima necesaria para que el conductor de un vehículo lo pueda adelantar a otro que circula por el mismo carril, sin peligro de interferir con un tercer vehículo que venga en sentido contrario y se haga visible al iniciarse la maniobra.

**NORMAS PARA PROYECTO GEOMETRICO.** - Disposiciones, requisitos, condiciones e instrucciones que la Secretaría fija o dicta para la elaboración de sus proyectos geométricos.

**FAJA SEPARADORA CENTRAL.** - Es la zona que se dispone para precaver que los vehículos que circulan en un sentido invadan los carriles de sentido contrario.

**GRADO DE CURVATURA.** - Angulo subtendido por un arco de circunferencia de veinte (20) metros de longitud.

**GRADO MAXIMO DE CURVATURA.** - Límite superior del grado de curvatura que podrá usarse en el alineamiento horizontal de una carretera con la sobreelevación máxima, a la velocidad de proyecto.

**GUARNICIONES.** - Elementos parcialmente enterrados que se emplean principalmente para limitar las banquetas, camellones, isletas y delinear la orilla de la calzada.

**HOMBRO.** - En sección transversal, punto de intersección de las líneas definidas por el talud del terraplén y la corona o por ésta y el talud interior de la cuneta.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

---

**HORIZONTE DE PROYECTO.** - Año futuro que corresponde al final del periodo previsto en el proyecto de la carretera.

**LAVADERO.** - Obra complementaria de drenaje, que se construye para desalojar las aguas de la superficie de la carretera y evitar su erosión.

**LIBRADERO.** - Ancho adicional que se da a la corona de las carreteras de un solo carril, en una longitud limitada, para permitir el paso simultaneo de dos vehículos.

**LONGITUD CRÍTICA.** - Es la longitud máxima de una tangente vertical con pendiente mayor que la gobernadora, pero sin exceder la pendiente máxima.

**PENDIENTE.** - Relación entre el desnivel y la distancia horizontal que hay entre dos (2) puntos.

**PENDIENTE GOBERNADORA.** - Es la pendiente que teóricamente puede darse a las tangentes verticales en una longitud indefinida.

**PENDIENTE MÁXIMA.** - Es la mayor pendiente de una tangente vertical que se podrá usar en una longitud que no exceda a la longitud crítica correspondiente.

**PENDIENTE MÍNIMA.** - Es la menor pendiente que una tangente vertical debe tener en los tramos en corte para el buen funcionamiento del drenaje de la corona y las cuentas.

**RASANTE.** - Proyección del desarrollo de eje de la corona de una carretera sobre un plano vertical.

**SECCIÓN TRANSVERSAL.** - Corte vertical normal al alineamiento horizontal de la carretera.

**SOBREELEVACIÓN.** - Pendiente transversal descendente que se da la corona hacia el centro de las curvas del alineamiento horizontal para contrarrestar, parcialmente, el efecto de la fuerza centrífuga.

**TALUD.** - Inclinación de la superficie de los cortes o de los terraplenes.

**TANGENTE HORIZONTAL.** -Tramo recto del alineamiento horizontal de una carretera.

**TANGENTE VERTICAL.** - Tramo recto del alineamiento vertical de una carretera.

**TRANSICIÓN MIXTA.** -Distancia que se utiliza para pasar de la sección en tangente a la sección en curva circular y viceversa.

**TRANSITO DIARIO PROMEDIO ANUAL (TDPA).** - Número de vehículos que pasan por un lugar dado durante un (1) año, dividido entre el número de días del año.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

---

**VELOCIDAD DE MARCHA.** - Velocidad media de todos o de un grupo determinado de vehículos, obtenida dividiendo la suma de las distancias recorridas entre la suma de los tiempos de recorrido en que los vehículos estuvieron efectivamente en movimiento.

**VELOCIDAD DE PROYECTO.** - Velocidad máxima a la cual los vehículos pueden circular con seguridad sobre un tramo de carretera y que se utiliza para su diseño geométrico.