



# UNIVERSIDAD DON VASCO A.C.

Incorporación No. 8727-15

A la Universidad Nacional Autónoma de México.

## Escuela de Ingeniería Civil.

### RECONSTRUCCIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PUENTE “LA HUACANA II”, A BASE DE POSTENSADO, UBICADO EN EL KM 122+930 DEL TRAMO CARRETERO ARIO DE ROSALES - TEPALCATEPEC.

Tesis

que para obtener el título de

Ingeniero Civil

Presenta:

**Juan Manuel Villegas Tulais.**

**Asesor:** Ing. José Antonio Sánchez Corza.

Uruapan, Michoacán, 01 de Septiembre de 2015.



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.

## **AGRADECIMIENTO.**

Por medio de este espacio que he dedicado a las personas que más quiero, respeto y admiro hago énfasis en dar gracias principalmente Dios que me dio salud y una segunda oportunidad de vida, para seguir adelante y poder concluir mis estudios universitarios. En segundo lugar quiero darle gracias a mi mamá por darme la vida, y recibir su apoyo en los momentos más difíciles e importantes donde le tocó ser madre y padre para mí.

De la misma forma quiero agradecer el apoyo de mis dos padres, Juan y Raúl, quienes me apoyaron en momentos trascendentes, para que yo pudiera lograr objetivos muy importantes a lo largo de mi vida; también quiero agradecer a mis dos hermanos, Jair y Eduardo, a quienes quiero mucho y que a pesar de todo siempre tendrán mi apoyo por que yo sé que cuento con el suyo.

A continuación voy a mencionar una persona que fue un regalo que me mandó la vida en el momento más difícil de mi carrera, la cual ha sido la mano que me levanta cuando ya no puedo más y me refiero a mi esposa Julia y mi hijo Juan Manuel, gracias por todo, los amo.

También quiero agradecer a mis suegros y tíos, quienes me apoyaron cuando requerí de su ayuda, a su vez aprovecho para agradecer al personal docente de la Universidad Don Vasco A.C. Por haber compartido sus conocimientos y el apoyo brindado en este tiempo, en especial al Ing. Blanco, Ing. Sandra, Ing. Mancera, Ing. Jacob y el Ing. Toño Sánchez Corza. “Gracias por su apoyo.”

## ÍNDICE.

### Introducción.

Antecedentes. . . . .	1
Planteamiento del problema. . . . .	3
Objetivo. . . . .	4
Pregunta de investigación.. . . .	5
Justificación. . . . .	5
Marco de referencia. . . . .	6

### Capítulo 1.- La ingeniería de puentes.

1.1. Origen de los puentes. . . . .	7
1.2. Tipos de puentes. . . . .	8
1.3. Componentes de un puente. . . . .	9
1.4. Cargas de diseño en los puentes. . . . .	10
1.4.1 Tipos de cargas. . . . .	10
1.5. Cargas en los puentes carreteros. . . . .	11
1.6. Las fuerzas del viento. . . . .	12
1.7. El impacto. . . . .	12
1.7.1 Fuerzas longitudinales y centrifugas. . . . .	13
1.8. Funcionalidad, materiales y diversidad de puentes. . . . .	13
1.8.1 Puentes de armadura. . . . .	13
1.8.2. Puentes colgantes. . . . .	16
1.8.3. Puentes atirantados. . . . .	19
1.9. Eficiencia estructural de los puentes. . . . .	21
1.9.1. Puentes decorativos y ceremoniales. . . . .	23
1.10 Puentes de mayor trascendencia en México. . . . .	23

1.10.1 Puente Internacional Portal a las Américas.	23
1.10.2 Puente Baluarte Bicentenario.	24
1.10.3. Puente Chiapas.	26
1.10.4. Puente El Zacatal.	27
1.10.5. Puente “Ingeniero Antonio Dovalí Jaime.”	28
1.10.6. Puente Mezcala Solidaridad.	30

## **Capítulo 2.- Mantenimiento de puentes.**

2.1. Tipos de mantenimiento.	32
2.2. Causas y vulnerabilidades del deterioro de los puentes.	35
2.2.1. Vulnerabilidad de sismos de los puentes.	36
2.2.2. Daños más visibles y comunes en los puentes..	39
2.2.3. Daños recientes en puentes.	43
2.3. Conceptos de reconstrucción y rehabilitación.	46
2.4. Técnicas de reconstrucción y rehabilitación.	47
2.4.1. Falta de apoyo.	47
2.4.2. Topes antisísmicos.	48
2.4.3 Reducción del peso en cubiertas.	48
2.4.4. Acción compuesta.	49
2.4.5. Mejora de la resistencia.	49
2.4.6. Desarrollo de continuidad.	50
2.4.7. Colocación de disipadores de energía.	51
2.4.8. Encamisado de concreto, acero o fibra de carbono.	51
2.4.9. Mecanismos de aislamiento sísmico.	52
2.4.10. Postensado.	53

### **Capítulo 3.- Resumen de macro y micro localización.**

3.1. Generalidades.	54
3.2. Objetivo y alcance del proyecto.	55
3.3. Entorno geográfico de La Huacana.	56
3.4. Macro y micro localización.	56
3.4.1. Macro localización.	57
3.4.2. Micro localización.	59
3.5. Topografía.	60
3.6. Economía.	60
3.7. Hidrología y clima de La Huacana.	61
3.8. Estado físico anterior y reporte fotográfico.	61
3.9. Alternativas de solución.	63

### **Capítulo 4.- Metodología.**

4.1. Método empleado.	64
4.1.1. Método analítico.	65
4.2. Enfoque de la investigación.	65
4.2.1. Alcance de la investigación.	66
4.3. Instrumentos de recopilación de información.	67
4.4. Descripción del proceso de investigación.	69

### **Capítulo 5.- Cálculo, análisis e interpretación de resultados.**

5.1. Cambio de apoyos.	71
5.1.1. Colocación de señalamiento.	71
5.1.2. Verificación de dimensiones y limpieza general.	73
5.2. Reparación de fisuras y oquedades del puente.	74

5.2.1 Reparación de las oquedades existentes en la superestructura.	77
5.3. Demoliciones para ventana de colado.	78
5.3.1. Construcción, colocación y colados de bloques de anclaje.	80
5.4. Cambio de apoyos y construcción de topes antisísmicos.	81
5.4.1. Colocación de neoprenos.	82
5.4.2. Construcción de topes antisísmicos.	83
5.5. Demolición y retiro de carpeta asfáltica existente.	85
5.5.1. Sobrelosa.	85
5.6. Postensado del puente.	88
5.7. Colocación de juntas de dilatación.	92
5.8. Colocación de carpeta asfáltica.	94
<b>Conclusiones.</b>	<b>98</b>
<b>Bibliografía y otras fuentes de información.</b>	<b>101</b>

## **ANEXOS**

# INTRODUCCIÓN.

## **Antecedentes.**

De acuerdo con la página electrónica [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org). (2014), los puentes son construcciones, por lo general artificiales, que permiten librar un accidente geográfico o cualquier otro obstáculo físico como un río, cañón, valle, vía férrea, cuerpo de agua o cualquier obstrucción. El diseño de cada puente varía de acuerdo a su función y la naturaleza del terreno sobre el cual es construido.

Según la página electrónica [www.herrera.unt.edu.ar](http://www.herrera.unt.edu.ar). (2014), la reconstrucción y rehabilitación en los puentes son trabajos mecánicos y/o manuales, que se realizan en estructuras deterioradas o con muchos años de servicio, con el fin de cambiar partes viejas de los puentes por partes nuevas sin necesidad demoler o interrumpir el tráfico que pasa por su calzada.

En la página electrónica [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org). (2014), el postensado de los puentes hace referencia al concreto que se somete a esfuerzos de compresión, por medio de cables de acero dentro de tubos de acero de diferentes diámetros, una vez que el concreto ha realizado el fraguado máximo que lo caracteriza.

Buscando en la biblioteca de la Universidad Don Vasco A.C. se encontraron diversas tesis relacionadas con las vías terrestres, procesos constructivos de carreteras y caminos, proyectos geométricos de las cuales se hacen mención de ellas a continuación.



José Antonio Sánchez Corza en su tesis titulada “Procedimientos constructivos puente Barranca El Limón”, en el año 2005, tenía como objetivo general mostrar la experiencia adquirida al trabajar en una empresa constructora en la realización de una obra de gran magnitud, como lo es el puente Barranca El Limón. Explicando el proceso de ejecución de la obra, concluyendo que fue correcta la elaboración del objetivo ya que se cumplió satisfactoriamente.

Por otra parte la tesis titulada “Diseño del proyecto geométrico de la carretera “El Capulín”, del tramo km 0+000 al km 2+740 en el municipio de Zitácuaro, Michoacán”, elaborada por Omar Medina Martínez en el año 2010, se encontró como objetivo general diseñar el proyecto geométrico de la carretera “El Capulín” del tramo 0+000 al km 2+740 en el municipio de Zitácuaro, Michoacán, y llegó a la conclusión de que fue correcto el diseño general, ya que este proyecto fue ejecutado con la normatividad de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Otra tesis denominada “Revisión del proyecto geométrico del camino Charapan-San José del km 0+000 al km 8+098” en el año 2011, elaborada por Carlos Morales Bonaparte, señala como objetivo general revisar mediante las normativas existentes y los cálculos posteriores que la geometría del camino Charapan-San José cumpla con las características preestablecidas por la SCT, con la finalidad de mejorar la vialidad del tráfico y la seguridad de los mismos, la cual dice que en su momento representó una alta peligrosidad para los conductores que transitaban por dicho camino.

## **Planteamiento del problema.**

En la presente tesis se trata de explicar la importancia de los puentes y los grandes problemas sociales y económicos que se previenen cuando se aplican técnicas de postensado en los puentes con deterioro de su concreto reforzado, por lo cual se dice que es de suma importancia que este tipo de estructuras tengan un mantenimiento periódico y es de vital importancia evitar que las estructuras reforzadas tengan su acero expuesto o sujetos al interperismo.

El puente La Huacana II desde que fue construido hasta el año del 2014 nunca había recibido algún tipo de trabajo de reconstrucción y rehabilitación, por tal motivo dicho puente durante todos estos años su desgaste fue en demasía, por lo cual fue necesario realizar los trabajos antes mencionados.

Los trabajos de reconstrucción y rehabilitación de este puente se deben de realizar de una manera muy ingeniosa y sin detener el tráfico, realizando maniobras que permitan el levantamiento del puente para realizar lo que son los cambios de apoyos y neoprenos, aun teniendo tráfico circulando por arriba del puente y sin realizar obra de desvío del cauce del agua que pasa por debajo de lo que es el puente.

Los habitantes que viven alrededor del municipio de La Huacana tienen la necesidad de transportarse por dicho puente, por tal motivo se vio necesario crear una solución con este tipo trabajos para que no se detenga el tráfico durante la realización de los trabajos. Por lo tanto, con la presente tesis se pretende determinar:

¿Cuáles son las ventajas de postensar y cómo reparar el puente sin detener el tráfico y sin generar impactos económicos a la sociedad de este municipio?

### **Objetivo.**

En esta investigación se plantea un objetivo general al igual que siete objetivos particulares, los cuales se mencionan a continuación.

### **Objetivo general:**

Determinar las ventajas de postensar puentes deteriorados y el proceso constructivo y de ejecución de la obra tomando en cuenta todos los complejos y recursos necesarios para la realización de este tipo de obras mencionando conceptos, materiales, maquinaria y/o equipo, costos y causas de fuerza mayor.

### **Objetivos particulares:**

Los objetivos particulares son los siguientes:

1. Definir el concepto de puentes.
2. Señalar en qué consiste la reconstrucción y rehabilitación de puentes.
3. Establecer las ventajas de postensar.
4. Mencionar las partes dañadas y a reparar del puente en estudio.
5. Señalar las partes que conforman el proceso constructivo.
6. Especificar materiales, mano de obra, maquinaria y/o equipo que se utilizaron en la obra real de esta investigación.
7. Conocer el costo-beneficio de la obra.

### **Pregunta de investigación.**

¿Cuáles son las ventajas de postensar y cómo reparar el puente sin detener el tráfico y sin generar impactos económicos a la sociedad del municipio de La Huacana?

### **Justificación.**

Esta investigación será una aportación para el campo de Ingeniería Civil, ya que por medio de este tipo de trabajos se ahorran demasiados problemas económicos y catastróficos para el gobierno federal y se previenen desastres como lo son las caídas o colapsos por desgastes de concreto o acero.

Será de gran beneficio y ejemplo para futuras generaciones de la ingeniería civil realizando un trabajo de calidad y lo más importante ahorrando desastres y cuestiones económicas las cuales generan un gran impacto para los gobiernos federales en este caso (CAPUFE Y SCT.).

Tanto como constructores, alumnos y secretarías dependientes del gobierno se darán cuenta de las grandes ventajas de este tipo de trabajos en cuanto a ahorro económico, tomando en cuenta que el dinero procedente de los impuestos sirve para generar recursos destinados para la reparación de los caminos y puentes en el país.

Esta tesis mostrará los pasos a seguir para realización de este tipo de procesos constructivos para generar este trabajo de una manera segura y de calidad para evitar desastres e impactos económicos para todos los puentes de las diferentes comunidades del país.

## **Marco de referencia.**

El puente en estudio se encuentra situado en la zona centro del estado de Michoacán en el municipio de La Huacana, en el kilómetro 122+930 del tramo carretero Ario de Rosales-Tepalcatepec. De acuerdo con datos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).

Para llegar a este municipio hay dos formas, la primera es por la autopista Siglo XXI Pátzcuaro-Lázaro Cárdenas a la altura del municipio de Nueva Italia sobre la autopista en mención, se encuentra una desviación hacia a La Huacana al tomar ese camino pasando por la población de Zicuirán se ubica a una distancia de 40 minutos. La segunda opción es llegar por el municipio de Ario de Rosales el cual se ubica a 60 minutos de recorrido de este lugar.

Llegando por el lado de Nueva Italia a la entrada de este municipio se encuentra la desviación a Poturo, ya ubicados en este lugar el puente La Huacana II se ubica a una distancia de 150 metros donde se realizar el estudio, la colonia Lázaro Cárdenas es el sitio aledaño al lugar.

En esta población se encuentra el Rio La Huacana, el cual divide en dos secciones a esta población, para librarlo y conectar estas dos secciones del municipio usan el puente en estudio ya que es la única forma de acceder de ambas partes del municipio.

# CAPÍTULO 1

## INGENIERÍA DE PUENTES.

En el presente capítulo se dará a conocer el origen de la ingeniería en los puentes, así como también se hace mención de los puentes en el mundo y la evolución del transporte. Se definirán los tipos de puentes, las partes y componentes principales de puente, las cargas de diseño, puentes de acero y sistemas empleados entre otros.

### 1.1. Origen de los puentes.

Cuando el hombre se vio en la necesidad de cruzar inmensos ríos, barrancas, entre otros grandes relieves topográficos, para poder trasladarse de un lugar otro y más grave aún si tenía que librar constantemente ese lugar o sitio.

Crespo (1996) señala que los primeros puentes son llamados naturales, por ejemplo un árbol caído atravesando un río. Los egipcios con el Rey Menis, fueron los primeros en hacer un puente para trasladar a sus guerreros a diferentes campos de batalla, así como los romanos que construyeron muchos puentes de madera, arcos de mampostería.

El mismo autor dice que Inglaterra fue de los primeros países en utilizar las estructuras metálicas, en China se usaron los puentes colgantes y en los Estados Unidos de Norteamérica se usaron los puentes de cantiléver. Debido a esto el hombre tubo la necesidad de forjar nuevas ideas para poder transportarse e ir en busca de alimentos y refugios simplemente para sobrevivir.

Los primeros vehículos fueron creados de madera y se utilizaron en todo el mundo, después de la segunda guerra mundial evoluciono el mundo del transporte gracias a Adolfo Hitler, de quien se dice que gracias a su ambición obligaba a sus subordinados a crear grandes maquinarias automotrices; por tal motivo se tuvo la necesidad de evolucionar los puentes de acuerdo al peso de los vehículos que finalmente circulan por él.

## **1.2. Tipos de puentes.**

De acuerdo con Merritt (1999) los puentes se clasifican de dos maneras: los fijos y los móviles. También se pueden agrupar de la siguiente manera como se presenta a continuación.

- a) Instalaciones soportadas:** Para esta clasificación se mencionan los puentes carreteros o férreos, puentes canales, acueductos, puentes peatonales y ganaderos, puentes de manejo de materiales y puentes de para manejo de agua o tuberías.
- b) Instalaciones accidentales o naturales:** En esta agrupación se hace mención de los puentes sobre carreteras o vías férreas, puentes sobre ríos, bahías, lagos o cruces de valles o accidentes geográficos.
- c) Geometría básica:** Se pueden apreciar de vista de planta; puentes curvos o rectos, a escuadra o esviajados, puentes de nivel alto o bajo como lo son los construidos sobre terrenos pantanosos.

**d) Sistemas estructurales:** Son puentes de claro simple o continuo o de viga continua, como se dice que son los puentes colgantes y puentes de marco o armadura.

**e) Materiales de construcción:** Le llaman así a los puentes de madera, mampostería, concreto o acero estructural.

### **1.3. Componentes de un puente.**

En conformidad con Crespo (1996) la estructura de un puente está formada por la superestructura, la subestructura y la infraestructura; la superestructura se conforma de diferentes maneras, por ejemplo de piso de madera apoyada sobre polines de madera, losa de concreto armado sobre traveses de acero estructural, losa con nervaduras de acero estructural, arcos de mampostería o de concreto arcos metálicos, armaduras de acero, colgantes, levadizos y giratorios.

La subestructura puede ser de caballetes de madera, caballetes de concreto armado, pilas y estribos de mampostería, torres metálicas sobre base piramidales de concreto, pilas y estribos de concreto ciclópeo o simple y pilas y estribos de concreto armado. De la infraestructura pueden formar parte de ella lo que son bases piramidales de mampostería o concreto, pilotes cilindros de fricción, losas de cimentación.



## **1.4. Cargas de diseño en los puentes.**

De acuerdo con Merritt (1999) los puentes deben soportar las cargas siguientes sin que excedan los esfuerzos y deflexiones permitidas, la cuales se mencionan a continuación.

### **1.4.1 Tipos de cargas.**

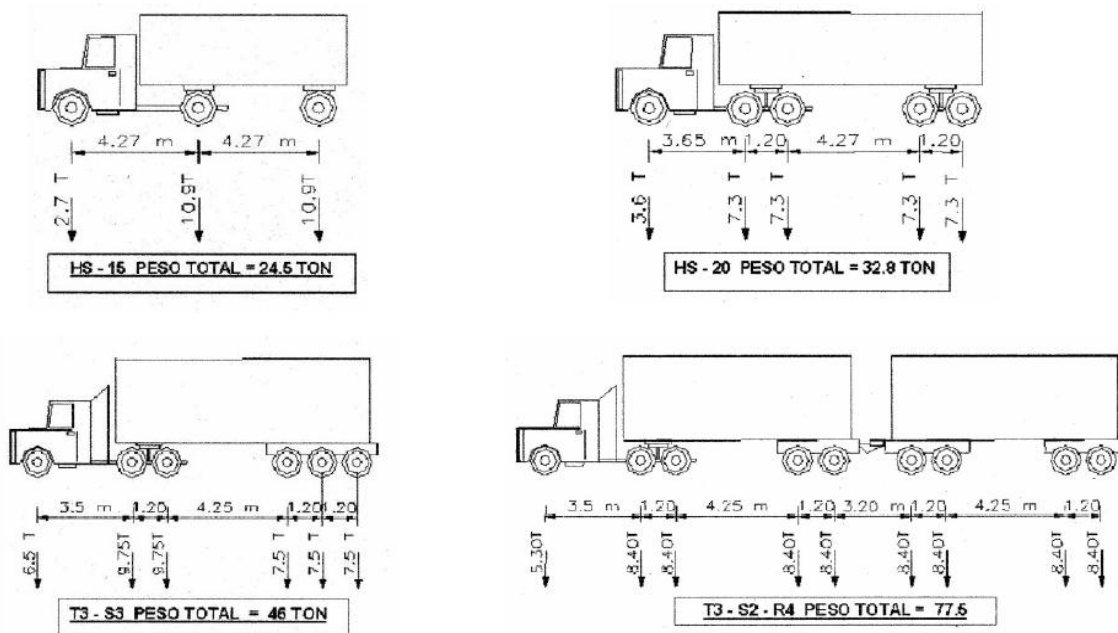
En conformidad con Merritt (1999), menciona que las cargas son las fuerzas y pesos ya sean los propios o ajenos al puente, que generan cierta reacción ya que pueden causar movimientos o deformaciones en las partes principales del puente, donde se hace mención de la importancia de realizar una aceptable distribución de cargas. A continuación se mencionarán los ejemplos de cargas.

- a) Carga muerta (D):** Instalaciones permanentes.
- b) Carga viva (L):** La carga viva vehicular para puentes en carreteras se les denomina carriles de diseño y carriles de carga; el número de carriles depende de ancho que va a tener la carretera.
- c) Presión del viento:** Es la presión que se ejerce sobre la estructura y sobre la carga móvil.
- d) Fuerzas longitudinales:** Estas se generan debido a la aceleración, frenado y fricción de los vehículos.
- e) Fuerzas sísmicas:** Son ocasionadas por los sismos y su fuerza depende de la magnitud de estos.
- f) Presión del terreno:** Estas presiones son la respuesta que tiene la subestructura al recibir el agua, hielo o corrientes de agua.

**g) Fuerzas resultantes:** Estas son las deformaciones elásticas o térmicas que aparecen en la estructura como resultado del servicio.

### 1.5. Cargas en los puentes carreteros.

De acuerdo con Merritt (1999) la carga viva vehicular para puentes en carreteras se les denomina carriles de diseño y carriles de carga; el número de carriles depende de ancho que va a tener la carretera cada carril de carga hay dos tipos de carga la HS20 y HS15 las cuales representan y camión con tres ejes cargados. A estas designaciones se debe añadir el número 44 lo cual indica que esta norma fue adoptada en 1944; a continuación se muestra un ejemplo:



**Figura 1.1.** Camiones utilizados como cargas vivas en la red carretera nacional.

**Fuente:** Jara (2009), 2° Simposio internacional de puentes (2009).

## 1.6. Las fuerzas del viento.

De acuerdo con Merritt (1999), se deben considerar en general, como cargas móviles que pueden actuar horizontalmente en cualquier dirección, estas ejercen presión sobre las áreas expuestas de la superestructura; para una revisión más afondo sobre fuerzas de viento se debe analizar por volcamiento, se agregan las fuerzas horizontales del viento que actúen en forma perpendicular al eje longitudinal del puente.

Se considera una fuerza hacia arriba de 20 lb/ft<sup>2</sup> para estructura sin carga viva o 6 lb/ft<sup>2</sup>, cuando la estructura lleva carga viva. Considera que se debe de aplicar a la cubierta y el área de la acera en planta en la cuarta parte del lado del barlovento del ancho transversal de la estructura.

## 1.7 El impacto.

En conformidad con Merritt (1999), el factor de impacto se expresa como fracción del esfuerzo por carga viva y se determina con la formula siguiente:

$$I = \frac{50}{125 + l} + 30\% \text{ maximo}$$

Donde l = claro, ft, o para cargas de camiones en voladizos, longitud del centro de momento al eje más alejado; o para cortante por carga de camión, longitud de carga que recibirá el claro, el impacto se considera en estribos, muros de retención, pilares, pilotes (excepto en pilotes de acero y concreto arriba del terreno rígidamente conectados con la superestructura), presiones en cimentaciones y zapatas.

### **1.7.1. Fuerzas longitudinales y centrifugas.**

De acuerdo con lo que dice Merritt (1999), en los puentes carreteros se deben proponer igual al 5% de la carga viva actuando en una dirección más que las fuerzas que resulten de la fricción de los apoyos de expansión del puente.

Por otro lado, las fuerzas centrifugas deben calcularse por medio de un porcentaje de la carga viva del diseño como se puede apreciar a continuación:

$$C = \frac{6.68 S^2}{R}$$

Dónde: S = velocidad de diseño, mi/h

R = radio de curvatura, ft

Se deben considerar en el diseño las fuerzas de sujeción generadas, para evitar deformaciones.

### **1.8. Funcionalidad, materiales y diversidad de puentes.**

En el mundo y el país se encuentran una gran diversidad de puentes de diferentes materiales, formas estéticas y con diferentes funcionalidades; de acuerdo a sus diseños o las tipos de cargas que recibirán y a su costo económico.

#### **1.8.1 Puentes de armadura.**

En conformidad con Merritt (1999), las armaduras son celosías formadas por elementos rectos con arreglos triangulares, aun cuando las armaduras se aplican casi para todos los sistemas estáticos y se construye de acuerdo claros, vigas y se van hacer elementos estructurales continuos y/o articulados.

Los puentes de armadura requieren más trabajo de campo que las trabes armadas semejantes, además de que el mantenimiento de las armaduras es más costoso debido a que el proceso constructivo es más complejo y difícil; por tal motivo el uso de las armaduras está cada vez más restringido para puentes con claros muy largos.

Las cubiertas de los puentes carreteros de armadura son losas de concreto las cuales son apoyadas sobre las estructuras de acero. En los puentes ferroviarios de claro largo las vías se colocan de madera directamente sobre los largueros de acero.

En México la mayoría de los puentes de armadura tiene la cubierta localizada entre las armaduras principales, con las piezas de puente conectadas a los postes de la armadura, se pueden localizar la estructura de la cubierta en la parte superior del cordón superior.

El mismo Merritt (1999) dice que los elementos de las armaduras se seleccionan para asegurar el uso efectivo del material (acero), como son los detalles más simples para las conexiones y facilidad en la fabricación, montaje, mantenimiento, etc. De preferencia deben ser simétricos.

Los principales materiales que se utilizan para armaduras son los siguientes:

- Pernos.
- Canales.
- Ángulos
- Placas
- Vigas

Por consiguiente, los materiales mencionados anteriormente son unidos por medio de soldadura especial para este tipo de armaduras la cual debe ser utilizada como se especifique en cada proyecto, tanto el tipo de soldadura y aplicación de la misma.

De acuerdo con el mismo autor, la resistencia de los miembros diseñados que trabajan a tensión, se controla por medio de su sección neta lo cual significa que el área de la sección que queda después de desconectar los agujeros de los remaches o de los pernos. La construcción de la soldadura debe realizarse en taller y la atornillación en campo, por lo general las placas más gruesas o de acero de alta resistencia se deben de usar para las secciones extremas, con el objetivo de compensar la pérdida de la sección de los orificios.

Todos los elementos compuestos deben ser rigidizados por medio de diafragmas que se ubican de forma estratégica para asegurar su cuadratura, la accesibilidad de todos los miembros y conexiones para su fabricación y mantenimiento debe considerarse como una prioridad para cada proyecto, cada miembro de alma debe fabricarse de una sola pieza que llegue desde el cordón superior hasta el inferior.

Este tipo de puentes se utilizan principalmente para carreteras ferroviarias debido a estos cuentan con un ancho de calzada muy estrecho tanto sus vigas y diafragmas transversales son muy cortos y a peraltados ideales para de diseño de puentes.

### **1.8.2. Puentes colgantes.**

De acuerdo con Merritt (1999) en la actualidad estos puentes son preferidos para claros mayores a 550 metros de longitud y compiten con otros sistemas en claros más cortos; sus sistema estructural consiste colocación de cables principales flexibles y suspendidos de ellos que soportan la estructura de la cubierta. Los carriles y banquetas se acomodan por regla general.

En conformidad con el mismo autor los puentes colgantes cuentan con unas vigas especiales denominadas vigas de rigidización las cuales tiene como propósito distribuir las cargas concentradas, reducir la deflexiones locales ya que actúa como cordones del sistema lateral y asegurar la estabilidad aerodinámica de la estructura. El espaciamiento de estas vigas está regido por el ancho de la calzada pero rara vez es menor que el 2 % del claro, estas vigas pueden ser traveses armados, traveses de caja o armaduras; estas últimas se prefieren por su menor resistencia al viento.

Los cables principales se anclan en bloques masivos de concreto o cuando la piedra subrasante es capaz de resistir la tensión del cable en túneles rellenos de concreto. O de igual manera, se conectan los cables principales a los extremos de las traveses rigidizadoras, que estarán sujetas a compresión longitudinal.

El mismo autor menciona que los puentes colgantes de un sólo claro son raros en proyectos de Ingeniería, ya que estos se pueden encontrar en los cruces de los cañones en donde la roca de ambos lados proporciona un cimiento seguro para los anclajes de los cables de alto nivel.

La mayoría de los puentes suspendidos tiene cables principales colgados de dos torres, estos puentes tienen un claro principal y dos laterales; si los claros laterales son suficientemente cortos los cables principales pueden caer directamente desde la parte superior de las torres de anclaje. Para este caso la cubierta lleva los estribos sobre armaduras o trabes armadas independientes de un claro simple.

Las péndolas entre los cables principales y las vigas de rigidización por lo general están espaciadas de manera uniforme y son verticales. Algunas veces para mayor estabilidad aerodinámica, las péndolas se entretajan con diagonales que se originan en las torres. También las péndolas se utilizan en forma de zigzag como sistema de cable.

Los cables principales, las péndolas y las vigas de rigidización suelen estar en planos verticales simétricos respecto del eje longitudinal del puente; son raros los puentes con cables y péndolas con inclinación hacia adentro y hacia afuera y con vigas rigidizadoras sobresalientes.

En Europa algunas veces se usan alambres de acero fundidos y trenzados con tratamiento térmico, las trenzas se deben penetrar ya que estos tienen un módulo de elasticidad más bajo y menos seguro que los alambres paralelos; los cables más pesados son los del puente Golden Gate los cuales son de 36 pulgadas de diámetro aproximadamente.

Los suspensores o péndolas pueden ser barras argolladas, varillas, cuerdas de acero simples, o pares de cuerdas colgadas del cable principal las conexiones al cable principal se hacen con banda cableadas las cuales son de acero fundido y sus



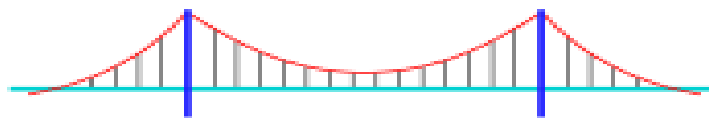
caras interiores se moldean para que se ajusten a la forma y dimensiones del cable principal.

En conformidad con el mismo autor, el sistema de piso para este tipo de puentes se debe considerar primero la carga muerta y la resistencia a las corrientes verticales del aire, la cubierta se construye por lo general de concreto aligerado en el cual se deben de colocar juntas de expansión de 30 a 37 metros con el fin de evitar la interferencia entre la cubierta y la estructura principal.

Los puentes colgantes se apoyan en torres, las cuales pueden ser de tipo portal de diversos niveles o estructuras arriostradas en forma diagonal, estas torres son construidas de forma celular hechas de placas y perfiles de acero o celosías de acero o concreto reforzado.

La base de las torres de acero suele empotrarse pero no debe descartarse la opción de que pueda ser articulada esta última opción no es muy usual en el campo de la Ingeniería civil debido a que puede tener la torre problemas de erección.

Estos puentes son de gran importancia para librar grandes relieves, como se muestra a continuación en la imagen como es su estructura en general con sus principales características:



**Figura 1.2.** Puente colgante.

**Fuente:** [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org). (2014).

### **1.8.3. Puentes atirantados.**

En conformidad con la página electrónica [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org). (2014), en la Ingeniería Civil se le denomina puentes atirantado aquel cuyo tablero está suspendido de uno varios pilones centrales mediante obenques, este se puede distinguir de los puentes colgantes debido a que en éstos los cables principales se disponen de pila a pila sosteniendo el tablero mediante cables secundarios verticales y por qué los puentes colgantes trabaja principalmente a tensión y por otro lado los puentes atirantados cuentan con partes que trabajan a tensión y compresión.

Los puentes atirantados datan desde 1595, cuando muchos puentes de esa época fueron una combinación entre atirantados y colgantes, los diseñadores descubrieron que la combinación de ambas tecnologías permitía construir puentes más rígidos un gran ejemplo es de la Cataratas del Niágara construido por John Augustus Roebling y el puente Baluarte el cual es el más alto del mundo que se construye en México en la carretera Mazatlán- Durango.

Los puentes atirantados ocupan un punto intermedio entre los puentes de acero de contrapeso y los colgantes; ya que un puente colgante y uno de contrapeso requieren más cable y acero aunque desde el punto de vista estructural se le podría denominar como puentes de contrapeso.

Estos puentes se usan en secciones que van de medianos a grandes con claros de hasta 300 metros ya que estas distancias se dan en estrechos y bahías, aunque para claros mayores de un kilómetro en la actualidad se utilizan únicamente

los puentes colgantes, todo esto a criterio del proyectista ya que puede calcular secciones sucesivas que salven claros mayores a un kilómetro.

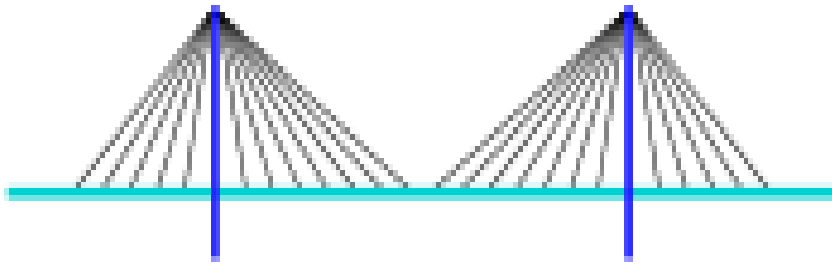
Dos de las características de estos puentes es el número de pilones; hay puentes con varios o con uno solamente y la otra es que lo típico en la construcción de estos puentes es que cuentan con un par de torres en los extremos.

También se caracterizan por la forma de los pilones, ya estos pueden tener la forma de Y, H y A por la parte inferior, por otro lado los tirantes están sujetos a ambos lados de la pista o bien se sujetan desde el centro, es característico la disposición de los tirantes ya que pueden ser paralelos o de forma radial respecto a la zona donde se sujetan del pilón, pueden tener un gran cantidad de tirantes próximos o pocos y separados como en los diseños antiguos.

Algunos de estos puentes tienen en los pilares, los tirantes de la sección central menos que en los extremos; otros tienen más en la sección central los cuales son conocidos como secciones de compensación también estos puentes pueden ser mixtos con secciones atirantadas y otras secciones de tipo puente viga.

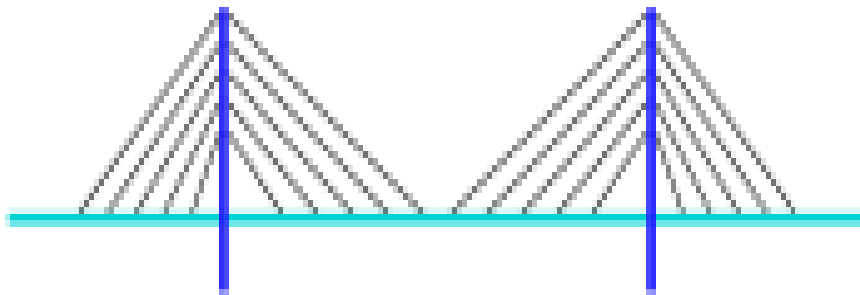
En los puentes atirantados las cargas se transmiten a la pila central a través de los cables pero al estar inclinados también se transmiten por la propia sección hasta el pilar, donde se compensa con la fuerza recibida por el otro lado no con un contrapeso en el extremo por ello no requieren anclajes en los extremos.

A continuación en las imágenes se mostrarán los dos ejemplos más comunes de estructuras de puentes atirantados:



**Figura 1.3.** Puente atirantado, diseño en abanico.

**Fuente:** [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org). (2014).



**Figura 1.4.** Puente atirantado, diseño de arpa.

**Fuente:** [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org). (2014).

### **1.9. Eficiencia estructural de los puentes.**

De acuerdo con [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org). (2014), la eficiencia estructural de un puente se puede considerar como el radio de carga soportada por el peso del puente dado un determinado conjunto de materiales que lo componen y le ayudan a resistir las cargas.

Los puentes ser clasificados por la forma en que las cuatro fuerzas de tensión, compresión, flexión y tensión-cortante están distribuidas en toda su estructura, la

mayoría de los puentes emplea todas las fuerzas principales en cierto grado pero solo unas predominan.

La separación de las cargas pueden estar bastante claras en un puente suspendido, los elementos a tensión son distintos en forma y disposición entre otros casos las fuerzas pueden estar distribuidas entre un gran número de miembros igual que un apuntalado.

La eficiencia económica de un puente depende el sitio, tráfico y los ahorros de tener el puente con respecto a su costo; el costo de su vida está compuesto de materiales, mano de obra, maquinaria y/o equipo, ingeniería, costo del dinero, seguro, mantenimiento, renovación y finalmente la demolición y eliminación de sus componentes, reciclado y reemplazamiento menos el valor de la chatarra y reutilización de sus componentes.

Los puentes que emplean solamente a compresión son ineficientes hablando estructuralmente, pero pueden ser altamente eficientes económicamente donde los materiales necesarios están disponibles en el sitio y el costo de la mano de obra es bajo.

Para puentes de tamaño medio los apuntalamientos o de vigas generalmente son los más económicos mientras que en algunos casos la apariencia puede ser más importante que su eficiencia de costo ya estos pueden ser de exhibición.

### **1.9.1 Puentes decorativos y ceremoniales.**

En conformidad con la página electrónica [www.paginadelconstructor.edu](http://www.paginadelconstructor.edu). (2014), con el fin de crear una imagen bella algunos puentes son construidos mucho más alto de lo necesario esto sucede con frecuencia en jardines con el estilo asiático oriental como lo es ejemplo del puente Luna en Asia.

Comúnmente en palacios los puentes son construidos sobre una corriente artificial de agua simbólicamente como como un paso a un lugar o estado mental importante, otro ejemplo es el conjunto de cinco puentes que cruzan un sinuoso arroyo este puente fue reservado únicamente para el emperador.

### **1.10. Puentes de mayor trascendencia en México.**

De acuerdo con lo antes mencionado, es necesario realizar alusión a los puentes de mayor trascendencia en el país, ya que debido a la construcción de estos se lograron realizar obras de gran envergadura para el país; generando un beneficio económico para la sociedad. Mismos que a continuación se mencionan.

#### **1.10.1. Puente Internacional Portal a las Américas.**

Menciona la página electrónica [www.herrera.unt.edu.ar](http://www.herrera.unt.edu.ar). (2014), que el puente en mención es uno de los cuatro puentes vehiculares internacionales que se encuentra en la frontera de México y Estados Unidos, conecta la ciudad de Laredo Tamaulipas con la ciudad de Texas. También se conoce como puente internacional uno, en Laredo y Nuevo Laredo cuenta con cuatro carriles para tráfico no comercial y peatones.

Este puente fue construido en 1954 y ha pasado por diversas inundaciones pero nunca ha sido dañado, su ubicación es el distrito histórico de San Agustín en Laredo en los términos de la Carretera Federal Mexicana 85 y es de gran importancia su existencia para la económica en el país debido a que facilita importación y exportación con el vecino país del norte.



**Imagen: 1.1.** Puente Internacional a las Américas.

**Fuente:** [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org). (2014).

#### **1.10.2 Puente Baluarte Bicentenario.**

En conformidad con la página electrónica [www.sct.gob.org](http://www.sct.gob.org). (2014) el puente Baluarte Bicentenario inicio su construcción el 21 de Febrero de 2008 y fue inaugurado el 5 de Enero del 2012; es un puente atirantado localizado en el municipio de Concordia Sinaloa, a lo largo de la autopista Durango-Mazatlán en México.

Tiene una longitud de 1,124 metros, un vano atirantado de 524 metros y galibo con respecto al Río Baluarte de 402.57 metros, de acuerdo con el certificado de Records Guinness se encuentra como el puente atirantado más alto en el mundo.

Este puente cuenta con cuatro carriles cuenta con 20 metros de ancho es soportado sobre el Río Baluarte por 12 pilares dos estos son torres de alta tensión. Estas dos torres cuentan con una base de 18 por 8.56 metros, el punto más alto de estas torres lo alcanza a los 169 metros con 76 cables de acero pasando por encima de la torre formando 152 tirantes.

El objetivo principal de la construcción de esta obra fue cruzar la Sierra Madre Occidental con una altura de 390 metros debajo de la cubierta, sustancialmente más alto que la Torre Eiffel y es también el puente más largo de América del Norte.



**Imagen: 1.2.** Puente Baluarte Bicentenario.

**Fuente:** [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org). (2014).



### **1.10.3. Puente Chiapas.**

En la página electrónica [www.sct.gob.org](http://www.sct.gob.org). (2014), se menciona al puente Chiapas que cruza la presa Netzahualcóyotl, también conocida como “Malpasos” situado en el estado de Chiapas. Fue inaugurado el 22 de Diciembre de 2003.

Es parte del tramo de conexión de entre Las Chopas, Raudales Malpaso y Ocozocoautla de Espinosa. El puente está realizado a base de estructura metálica con una longitud de 1,208 metros en su primer tramo y 631 metros para el segundo tramo; cuenta dos carriles, 10 metros de ancho y se localiza en la autopista Federal Cosoleacaque-Tuxtla Gutiérrez.

El puente fue construido por encargo de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes, fue diseñado por Triada Diseño y la administración y ejecución de la obra estuvo a cargo de la empresa ICA (Ingenieros Civiles Asociados). Recibió en 2005 el premio Liberman a la mejor obra y el primer lugar otorgado por la Cámara Nacional de la Industria de la Construcción.



**Imagen: 1.3. Puente Chiapas.**

**Fuente:** [www.sct.gob.org](http://www.sct.gob.org). (2014).

#### **1.10.4. Puente El Zacatal.**

El puente denominado El Zacatal en conformidad con [www.sct.gob.org](http://www.sct.gob.org). (2014), se encuentra ubicado en la parte sureste de la Ciudad del Carmen en el estado de Campeche y une la península de Atasta con la isla del Carmen en el km 165 de la carretera Villahermosa-Ciudad del Carmen; fue terminado el 24 de Noviembre de 1994 y puesto en funcionamiento por Carlos Salinas de Gortari durante su gestión como presidente.

Con una longitud de 3861 metros y un ancho de nueve metros es el más ancho de Latinoamérica y es transitable en dos carriles para toda clase de vehículos siendo empleado por Carretera Federal 180, es uno de los más transitados del país al tratarse de la entrada a la península de Yucatán.

Su superestructura está formada en su totalidad a base de elementos prefabricados siendo estos: 121 cabezales prefabricados de concreto, 496 trabes AASTHO IV, ocho trabes de cajón y un aproximado de 124 losas de concreto postensado.



**Imagen: 1.4.** Puente El Zacatal.

**Fuente:** [www.sct.gob.org](http://www.sct.gob.org). (2014).

### **1.10.5. Puente “Ingeniero Antonio Dovalí Jaime.”**

Se menciona la página electrónica [www.capufe.gob.org](http://www.capufe.gob.org). (2014), a este puente localizado en los límites de los municipios de Minatitlán e Ixhuatlán en el estado de Veracruz sobre la autopista Cosoleacaque-Nuevo Teapa conocido popularmente como Coatzacoalcos II ya que cruza este río.

Es un puente con una estructura de concreto armado y acero con una longitud de 1170 metros, con un claro principal de 288 metros y un espacio libre vertical en la parte del canal de navegación hacia Minatitlán, ya que por este motivo es imponente, estético y funcional en su momento se encontró como una de las 10 obras más importantes del mundo.

Este puente fue oficialmente inaugurado por el presidente Miguel de la Madrid el 17 de octubre de 1984; es de gran importancia esta obra ya que comunica a los estados de Veracruz y Tabasco, circulan alrededor 20,000 vehículos al día y su nombre es debido a un destacado Ingeniero Mexicano.

El puente cuenta con 15 apoyos y 14 tramos de diferentes claros, su estructura principal cuenta con una longitud de 512 metros, la superestructura es concreto pres-forzado en sección tipo cajón con peralte de 3 metros y un ancho total de 18 metros para alojar cuatro carriles para la circulación vehicular y banquetas laterales para los peatones.

La subestructura la conforman dos estribos de concreto reforzado y 13 pilas sección rectangular del mismo material; por otro lado la cimentación de este puente fue a base de 18 pilotes de concreto reforzado de 30 metros de longitud.

Una parte destacada de esta obra es el libramiento Minatitlán-Coatzacoalcos con una longitud de 33.2 kilómetros; 16.2 kilómetros corresponden a la parte derecha y el resto a la parte izquierda con un ancho de 22.50 metros para alojar circulación en ambos sentidos.

En la construcción de este puente participaron más de 3500 personas entre Peones, Ingenieros y Arquitectos, quienes se enfrentaron a dificultades naturales de la zona; este proyecto fue dado a conocer en el año de 1978 e inicio su construcción en 1979 para finalizar en el año de 1984.



**Imagen: 1.5.** Puente “Ingeniero Antonio Dovalí Jaime”.

**Fuente:** [www. capufe.gob.org](http://www.capufe.gob.org). (2014).

#### **1.10.6. Puente Mezcala Solidaridad.**

De acuerdo con lo que dice la página electrónica [www.capufe.gob.org](http://www.capufe.gob.org). (2014), que el puente Mezcala Solidaridad es un puente atirantado situado en el municipio de Mártir de Cuilapan, Guerrero; sobre el río Balsas conocido en la región como Mezcala localizado en el kilómetro 221 de la denominada autopista del sol que comunica a la ciudad de Cuernavaca, Morelos, con la costa de Acapulco.

Es el segundo puente más alto de México y el segundo de Latinoamérica, ya que cuenta con una longitud 911 metros y un ancho de 20 metros y cuenta con un galibo de 160 metros cuenta con un vano principal de 311 metros suspendido por medio de tirantes.

El surgimiento de este puente se da con un programa nacional de carreteras que se inició en México entre los años de 1989 y 1994, bajo la llamada "Ruta del Sol" la cual acortó la distancia entre la ciudad de México y Acapulco realizando un tiempo de 3.5 horas en este trayecto.

Para construcción de esta autopista se requerían cruzar grandes relieves y el más importante cruzar el río Balsas en cual se conoce en la región como Mezcala donde el ancho de orilla a orilla del río es de más de 2000 metros. Por consecuencia éste fue diseñado para cruzar dicho río.



**Imagen: 1.6.** Puente Mezcala Solidaridad.

**Fuente:** [www.capufe.gob.org](http://www.capufe.gob.org). (2014).

## **CAPÍTULO 2**

### **MANTENIMIENTO DE PUENTES.**

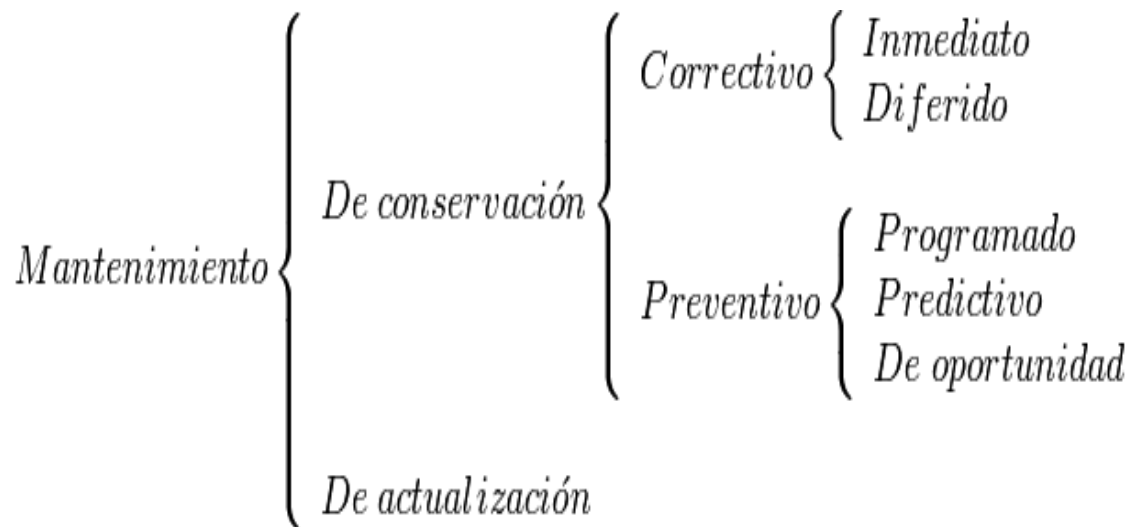
En el presente capítulo se hará referencia al mantenimiento de los puentes carreteros en el país, lo cual ha sido de gran importancia para la conservación de éstos; ya que el país ha carecido de mantenimiento en sus puentes durante años por la situación económica, por lo tanto el mantenimiento de los puentes es una buena opción para economizar y prolongar su vida útil.

Dentro del mantenimiento está lo que se conoce en el ramo de la Ingeniería Civil como la reconstrucción y rehabilitación de los puentes, procesos durante los cuales se les proporciona a los puentes un mantenimiento, ya sea preventivo o correctivo otorgándoles así una prolongación a su vida útil de servicio.

#### **2.1. Tipos de mantenimiento.**

En conformidad con lo que menciona Crespo (1996), se define como mantenimiento a aquello que tiene como objetivo mantener o restaurar el estado en que se encuentra algún objeto, como es el caso de los puentes, para lo cual se han de utilizar acciones técnicas y administrativas, según sea el caso.

En las operaciones de mantenimiento se dan a conocer las siguientes definiciones:



**Figura 2.1.** Esquema de manteamiento.

**Fuente:** [www.paginadelconstructor.org](http://www.paginadelconstructor.org). (2014).

A continuación se ejemplificaran de los diferentes tipos de mantenimiento.

- a) Mantenimiento de conservación:** Es el destinado a compensar el deterioro sufrido por el uso, tratando de que el daño no se aumente únicamente se conserve y no avance más.
- b) Mantenimiento correctivo:** Corrige los defectos o averías observados en el puente de manera minuciosa.
- c) Mantenimiento correctivo inmediato:** Es aquel que se realiza inmediatamente de percibir la avería o defecto con los medios disponibles destinados a ese fin.
- d) Mantenimiento correctivo diferido:** Al producirse la avería o defecto, se produce un paro de la instalación o equipamiento dependiendo de que se trate para posteriormente afrontar la reparación requiriendo los medios para ese objetivo.



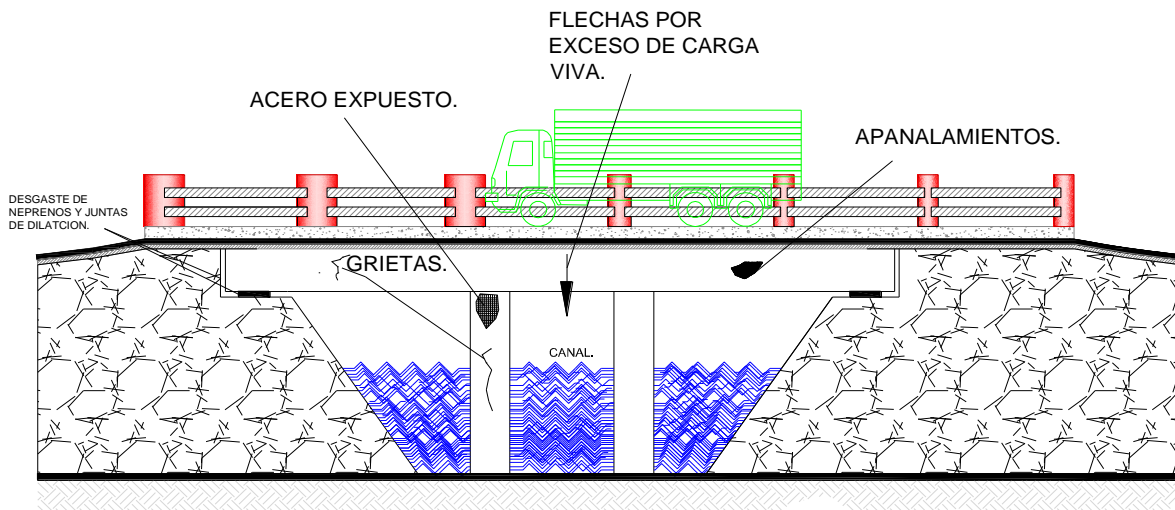
- e) **Mantenimiento preventivo:** Este mantenimiento es destinado a garantizar la fiabilidad de los puentes en funcionamiento antes de que pueda producirse un accidente o desperfecto por deterioro.
- f) **Mantenimiento programado:** Es el que se realiza por programa de revisiones, por tiempo de funcionamiento, kilometraje, etc.
- g) **Mantenimiento Predictivo:** Este realiza las intervenciones procediendo en el momento que el puente quedara fuera de servicio mediante un seguimiento de funcionamiento, determinando su evolución y por tanto darse cuenta en el momento preciso cuando las reparaciones deben efectuarse.
- h) **Mantenimiento de oportunidad:** Este aprovecha las paradas o periodos de no uso de los puentes para realizar las operaciones de mantenimiento, realizando las supervisiones o reparaciones necesarias para garantizar el buen funcionamiento de los puentes en el nuevo periodo de utilización.
- i) **Mantenimiento de actualización:** Este mantenimiento tiene como propósito compensar la obsolescencia tecnológica o las nuevas exigencias que el mantenimiento de construcción amerita y que en su momento no existían o no fueron tomadas en cuenta pero en la actualidad son importantes.

## **2.2. Causas y vulnerabilidades del deterioro de los puentes.**

Jara (2009), en el 2° Simposio Internacional de Puentes (2009), menciona las causas principales y vulnerabilidades por las cuales se generan los diversos desgastes y deterioros de los puentes; no solo en México también haciendo mención a algunos ejemplos de puentes en el mundo que por el constante uso vehicular no son ajenos a este tipo de problemas.

Las causas principales del deterioro o desgaste de los puentes son las siguientes:

- Sismos
- Acero expuesto
- Apanalamientos
- Flechas por exceso de carga viva con respecto a lo diseñado.
- Desgaste de neoprenos.
- Desgate de juntas de dilatación.
- Grietas



**Dibujo: 2.1.** Partes en deterioro constante de un puente.

**Fuente:** Propia.

### 2.2.1. Vulnerabilidad de sismos de los puentes.

De acuerdo con Jara (2009), tomado de Frías (2007), la red carretera de la República Mexicana ha estado en las últimas décadas en constante expansión; muchas de las nuevas autopistas construidas han requerido el proyecto de puentes de moderada y alta sismicidad. Existe una amplia zona localizada del país en la que los movimientos sísmicos son constantes, especialmente vulnerables a los temblores.

Aunque se menciona que son diversos los enfoques utilizados para estimar la vulnerabilidad sísmica de puentes, los estudios que abordan de manera minuciosa los aspectos que muestran la demanda sísmica; se obtiene normalmente de un

estudio de peligro sísmico que debe considerar todos los aspectos relativos al movimiento del terreno en el sitio donde se localiza el puente.

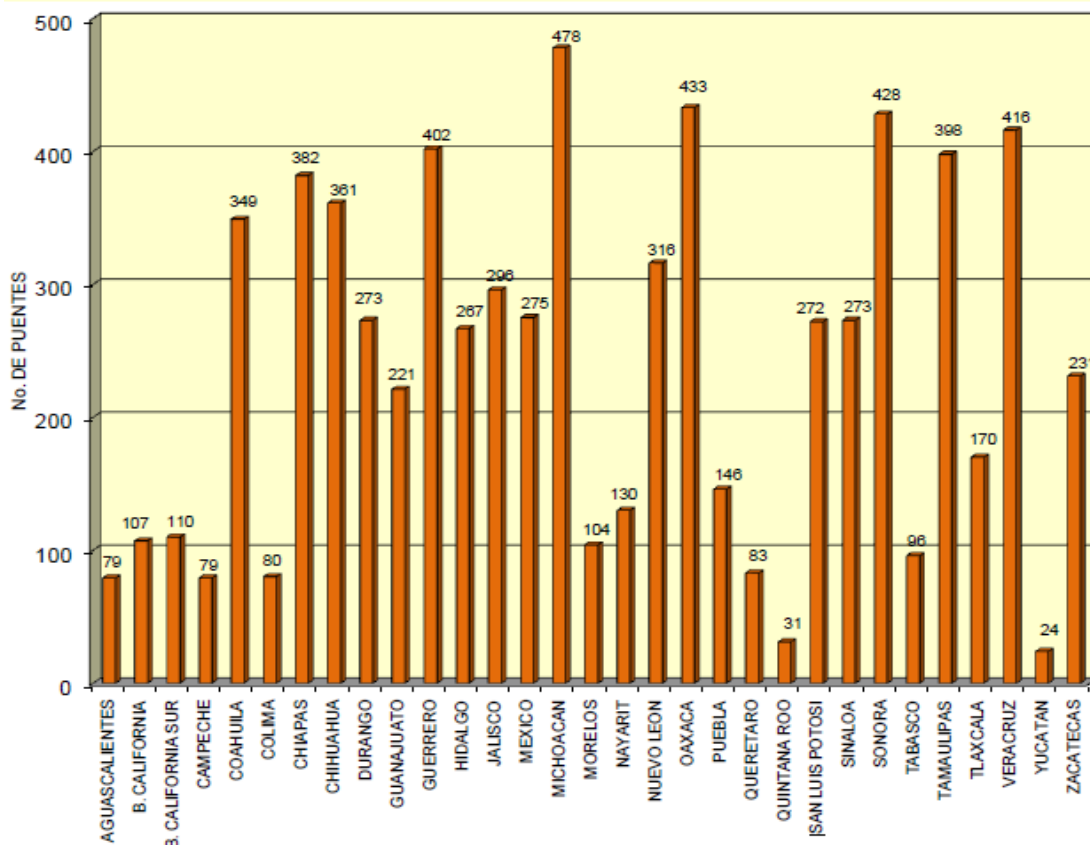
El mismo autor hace mención que existían hasta el año 2007 un total de 7310 puentes en la red carretera nacional. De estos puentes más del 60% son de concreto reforzado, más del 20% de concreto presforzado y alrededor del 6% de acero.

El 46% de los puentes tiene una edad mayor de 40 años lo que hace necesario evaluar su vulnerabilidad sísmica ante escenarios sísmicos actuales, estudios recientes muestran que en la actualidad los puentes de concreto presforzado (pretensado), tienen en general claros de entre 15 y 35 metros y una altura en sus pilas de entre 5 y 17 metros.

Las cargas vivas que transitan por la red carretera se ha ido modificando con el paso del tiempo, mientras que en la década de los setentas transitaban HS-15 con un peso total de 24.5 toneladas y en la actualidad circulan camiones T3S3 Y T3-S2-R4 con pesos respectivos de 46 y 77.5 toneladas.

En base a los datos anteriores se debe realizar un estudio de demanda sísmica, ya que una gran parte de la República Mexicana se encuentra ubicada en una zona de alto peligro sísmico, la evolución del peligro sísmico de una población y la determinación de la vulnerabilidad de las estructuras existentes es una actividad indispensable si se desea mitigar los daños provocados por temblores.

En la siguiente gráfica se mostrarán el número de puentes que hay por estado en toda la República Mexicana:



**Gráfica: 2.1.** Puentes de la red carretera nacional.

**Fuente:** Jara (2009), tomado de Frías (2007).

El peligro sísmico se evalúa considerando las fuentes sísmicas que afectan al sitio y en base a eso se determinan la potencialidad y se describen los procesos de ocurrencia, se deben elegir modelos de atenuación de las ondas sísmicas y se consideran características específicas del puente para estimar posibles amplificaciones por efectos topográficos por las propiedades dinámicas de los suelos del puente en estudio.

De esta manera se puede determinar a qué situaciones de vulnerabilidad están expuestos los puentes y los grandes deterioros que se pueden presentar dentro de ellos y así tomar una decisión del daño al que puede o está sujeto a sufrir y

el tipo de mantenimiento o refuerzo a utilizarse para determinado puente de acuerdo a la zona sísmica.

### **2.2.2. Daños más visibles y comunes en los puentes.**

De acuerdo con información de Jara (2009) en el 2° Simposio Internacional de Puentes (2009), menciona los daños más frecuentes que se presentan en la gran mayoría de los puentes y que se pueden apreciar con facilidad ya que son muy notorios y visibles, estos por lo general se encuentran en lo que es la subestructura de los puentes.

- **Acero expuesto:** Este el acero que va quedando a la intemperie debido al desprendimiento del concreto debido a la humedad lo que provoca que el acero sufra oxidación y por ende disminuya su capacidad de resistencia.

En la siguiente imagen se muestra un ejemplo real de la viga de un puente con acero expuesto:



**Imagen: 2.1.** Puente La Huacana II, trabe con acero expuesto.

**Fuente:** Propia.

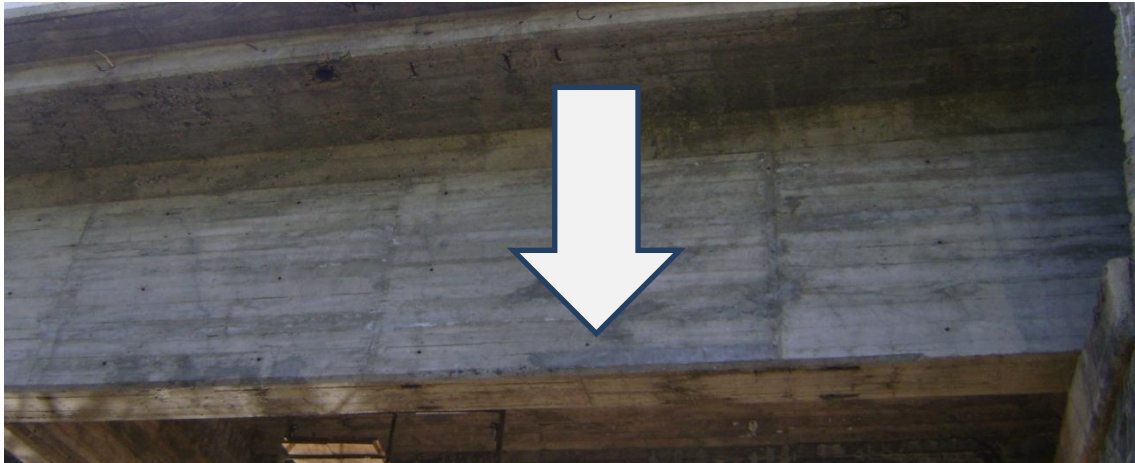
- **Apanalamientos:** Son las pequeñas grietas que se dan en conjunto dando una forma cacarusa como lo es la membrana de un panal y se suelen dar este tipo de casos cuando se comienza a desprender el recubrimiento de las vigas o cualquier parte de un puente.



**Imagen: 2.2.** Puente La Huacana II, losa con apanalamiento.

**Fuente:** Propia.

- **Flechas:** Este término lo adquieren aquellas partes de un puente que han sufrido algún tipo de vencimiento se le llama comúnmente en el ramo de la construcción, se cuelgan o tienden a pandearse las partes de la superestructura: losa, trabes, estribos, diafragmas, etc. Pueden darse las flechas en tres direcciones de manera horizontal, vertical que es la más común o angular. Por general se presentan en puentes donde la carga viva ha superado la carga de diseño del puente.



**Imagen: 2.3.** Puente La Huacana II, flecha vertical mínima.

**Fuente:** Propia.

- **Degaste de neoprenos:** El deterioro de estas partes de los puentes se puede decir que es normal, debido a los constante usos de los puentes, lo cual genera que estos tiendan a aplastarse y dejan de realizar la función primordial para la cual son utilizados; que es generar movimientos vibratorios para disipación de energía al momento de que pasan los vehículos por el puente.



**Imagen: 2.4.** Puente La Huacana II, neopreno con desgaste severo.

**Fuente:** Propia.



- **Desgaste de juntas de dilatación:** Como su nombre lo indica ésta es una junta que se encuentra ubicada entre el estribo y la calzada del puente, la cual sirve para dilatar o disipar energías provocadas por la fuerza con la que pasan los vehículos y así evitar que se transmitan las fuerzas de la calzada hacia los estribos o viceversa. Al igual que los neoprenos estas también terminan deteriorándose debido al tráfico constante a la falta de cambios periódicos.



**Imagen: 2.5.** Puente La Huacana II, junta de dilatación con desgaste severo.

**Fuente:** Propia.

- **Grietas:** Estas se pueden presentar en cualquier parte de la superestructura por general se presentan a 45° y son producidas por fallas estructurales y son de gran importancia ya que indican cuando empieza a haber fallas en el puente de tipo estructural. Es muy importante que éstas sean atendidas a tiempo, ya que la presentación de este tipo de problemas en un puente indica que empiezan a ver deterioros importantes en el puente.



**Imagen: 2.6.** Puente La Huacana II, con grietas.

**Fuente:** Propia.

### **2.2.3. Daños recientes en puentes.**

Señala Gómez (2009), la importancia de las técnicas de mantenimiento, reconstrucción, rehabilitación y reforzamiento de puentes, con el único objetivo de evitar daños y catástrofes que generan pérdidas humanas y/o económicas.

En el mundo y en el país ha habido grandes colapsos de puentes con demasiada edad y las autoridades competentes han hecho caso omiso a esta demanda o atención de los puentes, ya que a continuación se hará mención e ilustración de algunos ejemplos de puentes, que de haber obtenido un buen mantenimiento o reforzamiento estuvieran de pie y no hubieran pasado a la historia como se muestra enseguida:

- **El puente Mississippi:** Puente en forma de arco de acero de 160 metros de longitud, se le había detectado desgaste aunque no con indicios de gravedad se dio a conocer que se reemplazaría hasta el 2020.
- **Loma prieta 1989:** Colapso de tres puentes importantes con un saldo 62 muertos y una pérdida \$ 6000 millones de pesos, le habían detectado desgaste severo en partes importantes del puente ya tenía programado un reforzamiento pero fue demasiado tarde.
- **Northridge 1994:** Un sismo de 6.7 grados escala de Richter provoco un colapso de seis puentes importantes, 230 requirieron reparación moderada y costo de reparación del sistema de transporte de \$ 190 millones.
- **Kobe 1995:** Un sismo de 7.2 grados en la escala de Richter que dejo como secuelas 320 puentes dañados, 27% con daño estructural mayor, la reparación de este daño tuvo un valor aproximado a los \$ 95000 millones.
- **Taiwán 1999:** En este año el país citado tuvo un devastador sismo de 7.6 grados en la escala de Richter; con un saldo del 10% de los puentes con algún daño parcial y un 27% con daño estructural mayor, esto genero una

pérdida económica de \$ 7800 millones y \$ 31 millones en reparación de infraestructura de comunicación y transporte.

- **Washington 2000:** Sismo de 6.8 grados escala de Richter el cual generó daños en cuatro puentes con daños severos a falta de mantenimiento, cada uno de estos puentes daba un servicio diario a 18000 vehículos generando aproximadamente 2000 millones en pérdidas.



**Imagen: 2.7.** Puente Mississippi colapsado por falta de mantenimiento, rehabilitación y reforzamiento de partes dañadas.

**Fuente:** Gómez (2009), 2° Simposio Internacional de Puentes (2009).

Como se puede apreciar con los ejemplos anteriores, estas son algunas de las grandes consecuencias que se pueden presentar para la Ingeniería Civil cuando no

se es precavido con los aspectos de mantenimiento, reconstrucción y rehabilitación de los puentes.

### **2.3. Conceptos de reconstrucción y rehabilitación.**

En el presente subtema se darán a conocer los conceptos de reconstrucción y rehabilitación de los cuales es muy importante hacer mención, debido a que el puente en estudio del cual se despliega el trabajo de esta tesis como lo el Puente La Huacana II, tuvo un trabajo de campo partiendo de la ejecución de estos conceptos.

Enseguida se mostrarán las definiciones de los conceptos más comunes y utilizables en el país para la reconstrucción y rehabilitación de puentes de acuerdo con lo que menciona Gómez (2009) en el 2° Simposio Internacional de Puentes (2009):

- ❖ **Reconstrucción:** Proceso mediante el cual se trabajó en la construcción de partes de alguna pieza o estructura que ha sufrido algún daño recuperando su forma original aun con las partes nuevas han sido construidas y servirán de reemplazo.
- ❖ **Rehabilitación:** Proceso para restaurar una estructura al nivel del servicio original.
- ❖ **Reparación:** Aspecto técnico de la rehabilitación, acción tomada para corregir el daño o deterioración para restaurar la condición inicial.
- ❖ **Rigidización:** Técnica para mejorar el comportamiento de servicio de una estructura existente para eliminar deflexiones o agrietamientos excesivos o vibraciones inaceptables.

- ❖ **Incremento de resistencia:** Incremento de la capacidad de estructuras existentes para alcanzar un nivel de servicio mayor que el original que una vez llegara a tener.

## **2.4. Técnicas de reconstrucción y rehabilitación.**

De acuerdo Gómez (2009), los puentes cuentan con elementos muy vulnerables los cuales son los que principalmente sufren daños parciales o ya sea totales, por lo tanto, son las piezas que requieren de mayor atención.

A continuación se mostrarán las partes más vulnerables por lo que es necesario crear ajustes y aplicar técnicas de reconstrucción y rehabilitación:

- Vigas de acero.
- Trabes de concreto armado.
- Losa de concreto.
- Vigas rectangulares y T de concreto.
- Puentes en arco de concreto.
- Elementos simplemente apoyados.

### **2.4.1. Falta de apoyo.**

En conformidad con Gómez (2009), en el pasado se han presentado diversos problemas debido a la falta de apoyo de sistemas de piso por grandes movimientos relativos, la solución ha sido incrementar la longitud del apoyo o colocar cables tensores o ambos.

Estos elementos se han colocado en estructuras nuevas con el fin de incrementar la seguridad, su diseño es relativamente complicado porque se deben considerar diferentes efectos, como cimentación, estribos, comportamiento de apoyos, etc. En México se han hecho estudios sobre la longitud necesaria usando sistemas dinámicos simples sometidos a carga impulsiva.

#### **2.4.2. Topes antisísmicos.**

Gómez (2009), en el 2° Simposio Internacional de Puentes (2009), menciona que en México y otras partes se han utilizado los llamados topes antisísmicos los cuales tienen como función restringir movimientos transversales del sistema de piso, se deben diseñar para fallar por sismos intensos si no alteran el comportamiento del puente. Cabe mencionar que el Puente La Huacana II, el cual es el puente de estudio debido a que cuenta con este sistema de rehabilitación.

#### **2.4.3. Reducción del peso en cubiertas.**

Jara (2009), indica que este sistema consiste en el reemplazo de elementos existentes de gran peso por elementos ligeros como puede ser el reemplazo de parapetos metálicos, con esto se logra un incremento ligero en la capacidad a carga viva. Se ha aplicado en vigas, cubiertas, sistemas de piso, armaduras y arcos de acero.

De acuerdo con el mismo autor, es una técnica adecuada si el sistema de piso muestra degradación y es necesario su sustitución o rehabilitación, si la cubierta se encuentra en buenas condiciones es una técnica cara y se puede combinar con otras técnicas como acción compuesta.

#### **2.4.4. Acción compuesta.**

En conformidad con Jara (2009), muchos de los puentes viejos se componen de vigas de acero y cubiertas de concreto con poca interacción, la acción compuesta reduce esfuerzos por carga viva, deflexiones y vibraciones por el incremento de rigidez a flexión.

La acción compuesta se logra con elementos conectores entre vigas y cubiertas que pueden ser resortes, barras o canales. El reglamento actual de la AASTHO incrementó el número de conectores a usar.

Para este sistema si es necesario reemplazar la cubierta de la estructura no se requiere de interrumpir el tráfico ya que se usan secciones de concreto presforzado los cuales reducen tiempos de instalación. También con este sistema es muy benéfico en claros cortos y para mayor separación de vigas.

#### **2.4.5. Mejora de la resistencia.**

Gómez (2009), habla de las grandes mejoras de la resistencia que se obtienen con este con este método ya que se tiene la inclusión del acero en partes donde se requiere alta resistencia y no es suficiente con la que se cuenta.

- **Inclusión de placas de acero:** Las placas o ángulos de acero se unen a vigas mediante soldadura o tornillos, el objetivo es incrementar la capacidad a flexión. Se pueden tener algunos problemas con la ejecución debido a la concentración de esfuerzos, fatiga en soldadura y dificultad de instalación en los extremos superiores de las vigas.



- **Acero en la zona de tensión de vigas:** Las vigas mejoran su capacidad a flexión y cortante. Se han llegado a usar canales de acero con resina epóxica o refuerzo longitudinal adicional con cubierta de concreto.
- **Refuerzo transversal externo:** Son elementos de acero que pueden estar pos-tensionados, en algunos casos se debe perforar la losa para la conexión de estos elementos.
- **Resina epóxica con barras de acero:** Incrementa la resistencia a cortante. Es una técnica compleja.

#### **2.4.6. Desarrollo de continuidad.**

De acuerdo con lo que dice Gómez (2009), en el 2° Simposio Internacional de Puentes (2009), consiste en colocar soportes adicionales para reducir el claro y el momento positivo máximo en un sistema caro sobre todo en puentes cortos, ya que al colocar un apoyo intermedio en un puente de vigas de acero de 24 metros, diseñado para una HS20-44, reduce el momento por carga viva un 69% aunque se crea un momento positivo.

Algunas de las desventajas es que puede requerir de la interrupción del tráfico, se debe verificar la condición del suelo donde se requiere colocar el apoyo, se deben analizar los elementos para verificar la influencia del nuevo apoyo ya que se van a dar cambios de esfuerzos de tensión a compresión.

Es adecuado el sistema cuando el puentes está en buenas condiciones pero carece de capacidad suficiente en el sistema de piso, por ello se requiere que el

refuerzo sea negativo el cual es necesario para remover la sección vieja y colocar una nueva.

#### **2.4.7. Colocación de disipadores de energía.**

De acuerdo con Jara (2009), este tipo de elementos producen la disipación de energía en lugares específicos como en este caso son los apoyos, para limitar la carga en los elementos principales los cuales pueden ser los estribos o las pilas.

Para este sistema existen muy diversas propuestas, como por mencionar un ejemplo se ha puesto en estudio la posibilidad del el uso de contraventeo lateral o transversal de acero para producir disipación, una gran limitante es que se tienen que colocar en lugares muy reducidos, se pueden usar en dirección transversal y longitudinal entre la cubierta y la pila, entre soportes o entre cubierta y estribos.

#### **2.4.8. Encamisado de concreto, acero o fibra de carbono.**

En conformidad con Gómez (2009), este método consiste en aumentar el volumen de cualquier parte del puente por medios de los materiales siguientes: concreto, acero o fibra de carbono. Deben ser colocados por todo alrededor del elemento.

El mismo autor habla específicamente del concreto ya este se coloca en una capa relativamente muy delgada de aproximadamente 25 cms; con este material se obtiene la ventaja de incremento de ductilidad y resistencia a flexión y a cortante. El costo del material es bajo pero la mano de obra suele ser algo costosa debido a que se pueden encontrar con algunas dificultades en campo.

El encamisado de acero se utiliza por lo general en zonas urbanas donde el espacio está restringido, la ventaja de este encamisado es que incrementa la resistencia cortante, capacidad a flexión y ductilidad de pilas. La colocación de este encamisado suele aumentar por el peso del material.

La misma Gómez (2009), menciona que el encamisado de fibra de carbono se colocan con hojas de fibra de carbono sobre resina epóxica. Por lo regular los elementos mejoran la resistencia a cortante y a flexión, incrementan la integridad del elemento, la fibra de carbono es relativamente cara con un precio que oscila entre los 250 a 450 dólares/m<sup>2</sup>

#### **2.4.9. Mecanismos de aislamiento sísmico.**

Gómez (2009), en el 2° Simposio Internacional de Puentes (2009), hace referencia al objeto de reducir la respuesta de los elementos principales y ubicar el daño en los elementos principales y ubicar el daño en los elementos diseñados para tal fin. El aislamiento sísmico debe incluir rigidez lateral suficiente ante las cargas de servicio, baja rigidez horizontal, gran rigidez vertical y la gran posibilidad de disipación de energía para poder controlar grandes desplazamientos.

Las grandes ventajas del aislamiento sísmico son las siguientes:

- Flexibiliza la estructura aumentando su periodo fundamental.
- Incrementa el amortiguamiento.
- Reduce su costo inicial entre un 5 y 10%.
- Incrementa el desplazamiento horizontal.
- Reduce daño en elementos estructurales principales.

#### **2.4.10. Postensado.**

De acuerdo Gómez (2009), esta técnica se puede utilizar para reducir esfuerzo y fatiga por tensión, reduce desplazamientos por agrietamientos o deflexiones ya que incrementa la resistencia última y puede cambiar la continuidad de la estructura y produce interrupción mínima del tráfico y es de fácil instalación.

Este sistema fue utilizado para el puente el cual amerita el trabajo de esta tesis ya el puente La Huacana II fue reconstruido y rehabilitado en base a este sistema, ya que este fue postensado externamente y fue incrementado el espesor de su losa. Por tal motivo esta es una característica del postensado a nivel mundial.

El nombre de postensado hace referencia a después de fraguado el concreto que es a los 28 días que es cuando el concreto alcanza su máxima resistencia; a diferencia del pretensado con se refiere a antes de que fragüe el concreto o sea antes de los 28 días. Su costo económico suele variar dependiendo de la longitud del puente y las partes a reparar del mismo.

Con esto se pueden apreciar los grandes beneficios de este método ya que son impresionantes las cifras económicas que se toman como pérdidas las cuales se pueden mitigar haciendo un gasto muy mínimo realizando la reconstrucción y rehabilitación de los puentes y de mejor manera por medio del postensado.

## CAPÍTULO 3

### RESUMEN DE MACRO Y MICRO LOCALIZACIÓN.

En el presente capítulo se darán a conocer las características topográficas, geológicas, climatológicas, etc. Así mismo, se muestran las características físicas del objeto en estudio y un resumen de las principales actividades comerciales del municipio donde se encuentra el puente en estudio.

También se hará mención de la localización geográfica del puente, el cual es el punto de investigación de la presente tesis, además de mencionar las características de la hidrografía del sitio en estudio y, por lo tanto, una solución precisa a las interrogantes del problema.

#### **3.1. Generalidades.**

La página electrónica [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org) (2014), menciona que el país cuenta con 31 estados y un Distrito Federal donde el estado de Michoacán pertenece al listado antes mencionado y se localiza en la zona centro, el municipio de La Huacana es uno de los 113 municipios del estado de Michoacán el étimo de la Aguacana palabra de origen chichimeca que significa lugar de vestidos. Su fecha de creación fue el 12 de Marzo de 1907.

La Huacana se localiza en tramo carretero Ario de Rosales-Tepalcatepec a 250 kilómetros de la Cd. De Morelia y a 75 kilómetros de Apatzingán. Cuenta con una superficie territorial de 1,952.60 km<sup>2</sup> colindando con el estado de Guerrero tiene una población total de aproximadamente 32,750 habitantes; lo cual le representa

una densidad de 1,678 Hab/Km<sup>2</sup>. Sus coordenadas de localización son con una latitud de 18° 37' - 19° 05' N y longitud de 101° 36' - 102° 14' O de acuerdo con datos del INEGI.

La flora presente en este municipio, está compuesta por bosque mixto, predominando especies como la ceiba, oyamel, encino, tepehuaje, huizache y parota; en cuanto a la fauna la componen especies silvestres como: el mapache, zorrillo, ardilla, comadreja, puneches, venado; aves como la chachalaca, paloma, codorniz, gorrión, colibrí y zopilotes.

### **3.2 Objetivo y alcance del proyecto.**

El objetivo esencial de la presente investigación es el señalar las ventajas de pos-tensar puentes deteriorados y el proceso constructivo y de ejecución de la obra tomando en cuenta todos los complejos y recursos, necesarios para la realización de este tipo de obras mencionando conceptos, materiales, maquinaria y/o equipo, costos y causas de fuerza mayor.

Por otra parte, el sector estudiantil de la carrera de Ingeniería Civil será uno de los principales beneficiados, ya que esta investigación servirá como ejemplo y base para posteriores investigaciones de mantenimiento de puentes, cabe mencionar que la información recopilada en esta investigación puede ser utilizada como banco de información para la biblioteca de la institución.

### **3.3 Entorno geográfico de La Huacana.**

El entorno geográfico de La Huacana es un medio que ha crecido considerablemente en los últimos años, por lo cual es el aumento poblacional del municipio lo ha provocado mayor desgaste y/o uso del puente en investigación, lo cual da margen para la realización de los trabajos en dicho puente sin detener el tráfico vehicular como lo menciona el objetivo general de la presente investigación debido a la demanda con la cuenta el puente La Huacana II.

En la actualidad el entorno geográfico se compone principalmente de bosque mixto, predios agrícolas y ganaderos, el río La Huacana el cual tiene que cruzar la población por del puente en investigación que divide al municipio en dos partes principales.

La colonia más cercana a la zona de investigación es conocida como Lázaro Cárdenas, que se localiza en el sector sur del municipio, cercana a la desviación con la población de Poturo que está a una distancia cercana del puente en estudio, convirtiéndose esta colonia en el acceso principal al sitio de investigación.

### **3.4. Macro y micro localización.**

La investigación tiene lugar en el municipio de La Huacana, Michoacán, que se encuentra ubicada con las coordenadas latitud de 18° 37' - 19° 05' Norte y longitud de 101° 36' - 102° 14' Oeste con respecto al meridiano de Greenwich. La Huacana está situada en el Estado de Michoacán, el cual es parte de los 32 estados de la República Mexicana, ubicándose en la zona centro del país.

Enseguida se muestra el mapa de la República Mexicana donde principalmente se hace alusión a la localización del Estado de Michoacán para tener una mejor percepción de la ubicación de la investigación:



**Imagen: 3.1.** Ubicación de Michoacán en la República Mexicana.

**Fuente:** [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org). (2014).

#### **3.4.1. Macro localización.**

Una vez ya ubicados en el país y en el Estado de Michoacán, se procede con la localización geográfica del municipio de La Huacana; por medio de la siguiente imagen se da a conocer la ubicación y colindancia con otros municipios:





**Imagen: 3.2.** La Huacana Michoacán.

**Fuente:** [sg.michoacan.gob.mx](http://sg.michoacan.gob.mx) (2014).

Para arribar a este municipio se puede llegar de dos formas, ya sea por el lado sur por la autopista Siglo XXI del tramo carretero Pátzcuaro - Lázaro Cárdenas a la altura del municipio de Nueva Italia se encuentra una desviación a La Huacana a 40 minutos aproximadamente, o bien por el lado norte por medio de Ario de Rosales, el cual se localiza a 60 minutos de recorrido.

### 3.4.2. Micro localización.

Llegando por la Autopista Siglo XXI y pasando por la población de Zicuirán se encuentra La Huacana, a la entrada de este municipio se puede apreciar la desviación a Poturo a una distancia aproximada de 150 metros se localiza el puente La Huacana II, donde se realiza el estudio. A continuación se muestra la ubicación del puente en mención:



**Imagen: 3.3.** Imagen satelital de la colonia donde se localiza el puente.

**Fuente:** Programa Google Earth.

### **3.5. Topografía.**

La topografía de La Huacana se caracteriza por ser muy poco accidentada, ya que cuenta con desniveles muy mínimos y de poca consideración, por tal motivo se facilitan los trabajos de la investigación. El río La Huacana es el gran relieve de consideración el cual el librado por el puente en estudio.

Debido a la topografía plana del municipio se dan las condiciones para que se encuentren diferentes terrenos destinados a la agricultura, cabe mencionar que el mínimo desnivel de este municipio va de norte a sur por tal motivo el municipio se expandió hacia el sur.

### **3.6. Economía.**

La economía de este lugar se basa en los cultivos tales como la siembra de arroz, caña de azúcar, limón y maíz. También este lugar cuenta con grandes extensiones ganaderas y porcinas ya sea para comercializar o consumo propio de la población.

Dentro de la localidad se encuentran pequeños negocios que prestan servicios, tales como: abarroteras, talleres, hoteles, forrajeras y restaurantes, los cuales se le consideran micro y pequeñas empresas. Dando al lugar movimiento económico para sus pobladores ya sea en su propio negocio o en algún comercio del municipio.

### **3.7. Hidrología y clima de La Huacana.**

El municipio pertenece a la región hidrológica del Balsas y Costas de Michoacán, siendo sus recursos hidrológicos proporcionados por los ríos La Huacana, Huámito, Zancudo, Pastoria y Capirio; los arroyos: Zapiero, San Pedro Jorullo y San Antonio; la presa Zicuirán y manantiales de agua fría y uno de agua caliente.

El de esta zona es tropical con lluvias en verano y en algunas partes seco estepario. Tiene una precipitación pluvial de 800 milímetros y una temperatura máxima de 42 grados y la mínima de 21 grados. Los inviernos suelen ser entre tropical y templado todo esto de acuerdo con la página electrónica [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org). (2014).

### **3.8. Estado físico anterior y reporte fotográfico.**

La primera visita al sitio fue por medio de una visita de obra que se realizó para observar las condiciones del lugar realizar un reporte fotográfico y en base a eso realizar el presupuesto de obra por medio de una licitación pública de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).

La segunda visita se realizó para determinar los volúmenes de obra que se llevarían a cabo con la ejecución de la obra, esto en base a los proyectos realizados por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). Esto con el afán de cumplir con todos los requerimientos que demandaba el proceso constructivo del proyecto.



Enseguida se mostrarán las imágenes más representativas del puente antes de ser reparado:



**Imagen: 3.4.** Puente La Huacana II, antes de la reparación.

**Fuente:** Propia.



**Imagen: 3.5.** Puente La Huacana II, antes de la reparación.

**Fuente:** Propia.

### **3.9. Alternativas de solución.**

En este proyecto de investigación que es el proceso constructivo de reconstrucción y rehabilitación de un puente a base de postensado, evitando que durante la ejecución del proceso se va afectado o interrumpido el tráfico y no generar impactos económico a la sociedad, debido a que este puente es de demasiada importancia para actividad comercial de este municipio y a su vez evitar en el futuro una catástrofe por falta de mantenimiento del puente.

## **CAPÍTULO 4**

### **METODOLOGÍA.**

En el presente capítulo se darán a conocer los temas relacionados con la metodología, se hará mención de forma breve de los diferentes métodos y herramientas para la ejecución del trabajo de investigación, también se comentará sobre los instrumentos utilizados para la recopilación de la información utilizada además del proceso que se llevó a cabo para la investigación de este trabajo.

#### **4.1. Método empleado.**

Método científico: este tipo de método resulta ser lento ya que obtiene apoyo de los conocimientos del investigador, campo o ramo laboral al cual pertenece la investigación. Para poderse realizar lo siguiente es necesario que el investigador se formule unas preguntas así mismo del tema en el cual se va a desempeñar, así como un problema a solucionar esto de acuerdo con Mendieta (2005).

Para poder llegar a formar una hipótesis el investigador debe apoyarse en los conocimientos ya comprobados, estos deben relacionarse con el sistema de conocimientos y buscar la predicción teórica de los conocimientos aun no descubiertos. Con el trabajo realizado por el investigador, esto enriquece más sus conocimientos y descubre a su vez fenómenos que ajustan o que distorsionan la hipótesis inicial esto según Mendieta (2005).

El método científico requiere siempre de una investigación, la cual es un estudio organizado sobre una materia que responde a una metodología a fin

descubrir hechos que permitan establecer o revisar una teoría o revisar una teoría a desarrollar un plan en acción a partir de los hechos descubiertos.

Una vez obtenida la investigación se define el problema, se realiza una hipótesis y se diseñan los experimentos para el análisis y así llegar a una conclusión concreta y exacta y con una recomendación para obtener una solución adecuada para los problemas.

#### **4.1.1. Método analítico.**

En la presente investigación, igual que el método científico también se incluyó el método analítico, debido a que este método según Jurado (2005), es capaz de distinguir los elementos de un fenómeno en particular, la enumeración de sus partes, la ordenación del mismo así como la clasificación ordinaria de cada uno de ellos por separado, para posteriormente con el uso de la experimentación establecer las leyes universales.

#### **4.2. Enfoque de la investigación.**

Se puede definir como investigación al conjunto de procesos sistemáticos, críticos y empíricos que se aplican al estudio de un fenómeno para entender, verificar, corregir o aplicar el conocimiento. En base a lo establecido por Sampieri (2004), se utilizará un método cuantitativo para la presente investigación, ya que es un enfoque secuencial y probatorio.

Cada etapa del método cuantitativo procede a la siguiente y no es posible “saltarse” pasos ya que el orden es riguroso aunque podemos definir alguna fase.



Para este enfoque, lo primordial es a partir de una idea a la cual podría decidirse que se irá dando forma, para luego definir los objetos primordiales y las preguntas para investigación.

Este enfoque cualitativo profundiza en el significado de los datos, su dispersión e interpretación, contextualización del entorno, los detalles y experiencias únicas, por lo tanto, al utilizar ambos enfoques se potencializa el desarrollo del conocimiento, la construcción de las teorías y la resolución del problema presente.

Si utilizamos ambos enfoques, nuestra investigación tendría un significado aún más grande, ya que el desarrollo del conocimiento, la construcción y la elaboración de teorías y la resolución de los problemas se potencializan a un grado mayor, dándonos la oportunidad de emitir un juicio más amplio sobre el tema.

#### **4.2.1. Alcance de la investigación.**

Esta investigación se basa en un análisis de estudio descriptivo, ya que permite ordenar el resultado de las observaciones de las conductas, las características los factores, los procedimientos y otras variables de fenómenos y hechos. Este tipo de investigación no tiene hipótesis exactas ya que se fundamenta en una serie de análisis y pruebas.

Este tipo de enlace es el más adecuado para fundamentar las investigaciones relacionadas entre sí, también se pueden integrar mediciones de cada una de las incógnitas para lograr expresarlas en términos deseados, los cuales suministran la información necesaria para producir estudios explicativos.

De acuerdo con Hernandez y Cols (2004), el procedimiento para el diseño de la investigación basada en el enfoque descriptivo, consiste en medir a un grupo de personas, fenómenos, situaciones, contexto dentro de una sola variable y proporcionar su descripción. Por lo tanto, los estudios son puramente descriptivos cuando establecen una hipótesis ya que estas son también descriptivas.

#### **4.3. Instrumentos de recopilación de información.**

Los instrumentos para la recopilación de información son aquellos documentos de soporte que permitan almacenar resultados para registrar la información recolectada en la investigación. Dichos instrumentos permiten hacer un mejor análisis de la información con fines estadísticos o para tomar decisiones.

Existen diversos instrumentos que se pueden usar en las investigaciones, ya sea para la obtención de resultados o de almacenamiento como pueden ser aparatos y software de los mismos se tendrán en cuenta los siguientes:

- Estación total.
- Excel.
- Word.
- Paint.
- AutoCAD.
- Civilcad.
- Prolink.
- Google Earht.

Estación total, aparato electrónico el cual sirve para llevar acabo levantamientos topográficos de campo y de ahí bajar la información al programa AutoCAD, para posteriormente poder sacar niveles, curvas de nivel, medición de distancias y área total del puente en investigación.

Excel es un programa que servirá como hoja de cálculo para sacar el presupuesto total de la obra ya que por medio de este podemos obtener gráficas, precios unitarios y catálogo de conceptos de la obra en estudio.

El software llamado Word es la principal herramienta de esta investigación ya está ayuda a la descripción de la tesis y de igual forma nos ayuda con recepción de imágenes para la presente investigación.

Paint es una herramienta de Windows en la cual tiene como función la recepción y mejoramiento de fotografías provenientes de Google Earth, ya este programa mejora el pixelaje de las imágenes y disminuye la distorsión de las mismas.

AutoCAD es un programa de computadora para el diseño de dibujo en dos y tres dimensiones, la cual servirá para la creación de planos así como el proceso de datos obtenidos por la estación total y para obtener todos los datos que proporcionara la herramienta Civilcad.

Civil CAD es una herramienta que se desglosa del AutoCAD, la cual ayuda a obtener datos como son: niveles, curvas de nivel, triangulaciones, cuadro de construcción del levantamiento y perfiles topográficos del puente en estudio.

El programa Prolink es una herramienta que servirá para la conexión entre la estación total y el AutoCAD ya que por medio de este se puede lograr que la información de campo conseguida en la estación total se pueda bajar al Prolink para posteriormente ser exportada al AutoCAD.

La herramienta del Google Earth es de las más importantes en la presente investigación ya servirá para ubicación área del sitio donde se realizaran los trabajos, además de que ayudara para la micro localización del lugar y para obtención de imágenes aéreas.

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

El presente trabajo lleva un proceso secuencial el cual inicia desde la definición de lo que es un puente, los tipos de puentes que hay a nivel mundial, las partes más importantes de los puentes estructuralmente, los puentes con más importancia construidos dentro del país, principales causas que provocan el deterioro de los puentes, las partes que por lo general se dañan, así como las diferentes técnicas de reconstrucción y rehabilitación para puentes y la más apropiada para el puente de la presente investigación.

Se buscará que se lleve una lógica en toda la información para que el estudio sea lo más claro y aceptable para investigadores del mismo tema, posteriormente en la descripción del proceso constructivo se llevara un orden desde lo que es el saneamiento del puente, inyecciones para grietas, volúmenes de obra, armado y construcción de bloques desviadores, colocación de topes antisísmicos, cambio de neoprenos y juntas de dilatación, demolición de carpeta asfáltica y finalmente la

colocación de una nueva carpeta asfáltica así como el postensado de las traveses y diafragmas del puente.

## **CAPÍTULO 5**

### **CÁLCULO, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.**

Dentro del presente capítulo de investigación se pretenderá dar solución a la incógnita del problema, de la manera más secuencial siguiendo cada uno de los pasos a tomar dentro de lo que conlleva el proceso constructivo. De esta manera llegaremos a las respuestas de las preguntas formuladas al principio de la investigación, sin dejar de lado los beneficios económicos que se obtiene con este tipo de técnicas de reconstrucción y rehabilitación.

Enseguida se hará mención de las etapas principales en las que se divide el procedimiento constructivo y los detalles secuenciales que se siguieron en la construcción de esta obra.

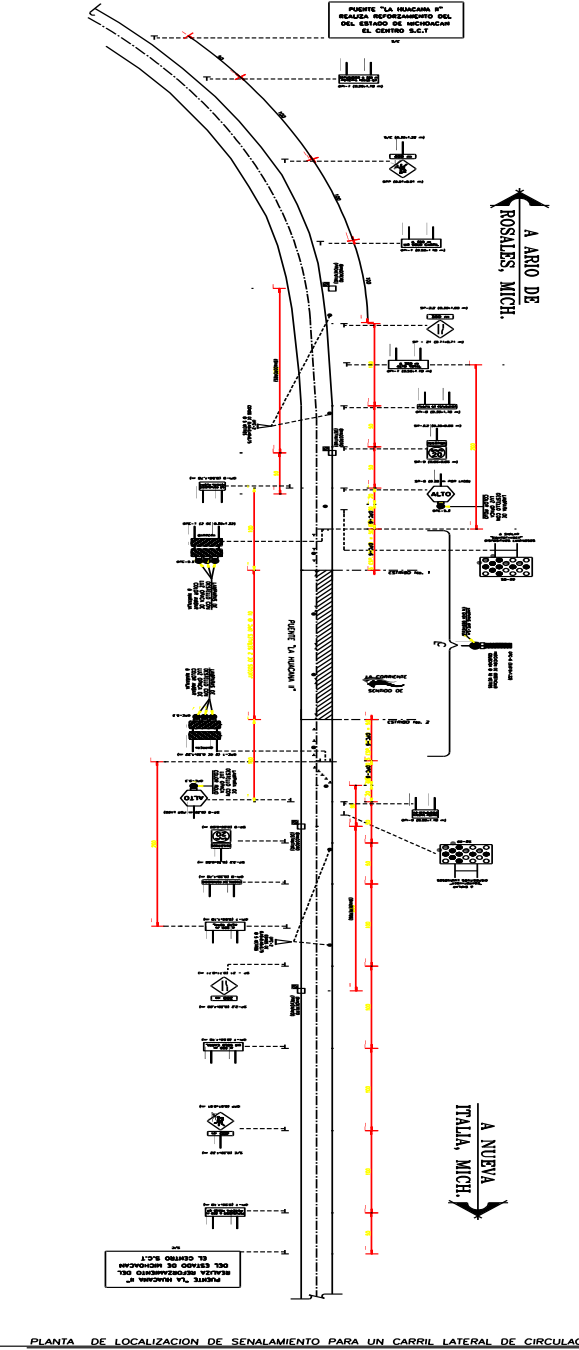
#### **5.1. Cambio de apoyos.**

Esta etapa consiste en cambiar los apoyos del puente, como su nombre lo dice esto conlleva cambiar los neoprenos con desgaste severo esto por medio del izaje y gateo, antes de realizar esta maniobra se deben realizar diversos trabajos de limpieza y mantenimiento de la superestructura.

##### **5.1.1. Colocación de señalamiento.**

Al inicio de este tipo de obras se debe comenzar con la colocación del señalamiento respectivo, que en este caso se divide en dos tipos como lo es diurno y el nocturno para el día y la noche respectivamente, esto para control del tránsito y

seguridad del personal que labora en la obra turnando los carriles según se requiera de acuerdo a los trabajos que se vayan a realizar.



Dibujo: 5.1. Plano de vista en planta de señalamiento de obra.

Fuente: Propia.

### **5.1.2. Verificación de dimensiones y limpieza general.**

Es de suma importancia verificar las dimensiones del puente en estudio, antes de comenzar con los trabajos de reforzamiento y cambios de apoyo; esto debido a que es importante tener las medidas reales ya que en base a estos datos se toman en cuenta la longitud de los tensores y la capacidad de los gatos hidráulicos para levantamiento de los estribos para el cambio de los apoyos.

Posteriormente a la verificación de las medidas se debe continuar con lo que es la limpieza general de toda la parte superior de la superestructura, mediante chorro de arena y agua mejor conocido como sanblasteo. Esto es muy importante ya que por medio de este trabajo quedado totalmente limpio el puente y se pueden apreciar mejor las partes dañadas del puente como son:

- Grietas.
- Fisuras.
- Apanalamientos.
- Acero expuesto.





**Imagen: 5.1.** Limpieza general del puente por medio sanblasteo.

**Fuente:** Propia.

## **5.2. Reparación de fisuras y oquedades del puente.**

Se deben reparar todas las fisuras y oquedades que tengas las partes del puente en estudio, esto porque es necesario sanar el puente de posibles puntos de falla, de no realizar estos trabajos en partes importantes de la estructura puede generar problemas a futuro y de nada servirán los trabajos de reconstrucción y rehabilitación.

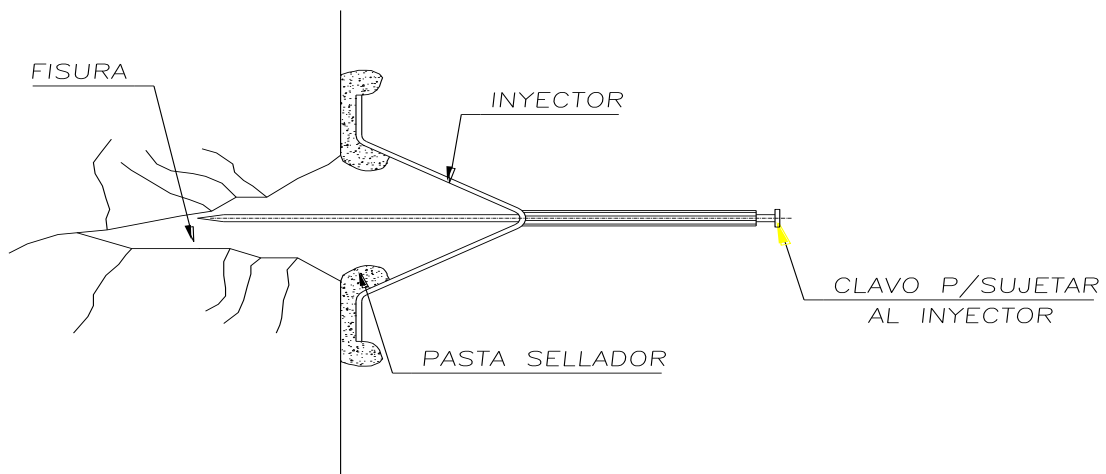
Cuando se habla de fisuras y oquedades se refiere a la repación por medio de resanación de concreto expuesto y Apanalamientos, estos problemas se presentan

principalmente en las trabes longitudinales y diafragmas en los puentes, debido a que estas partes son las que se encuentran sujetas a interperismo.



**Imagen: 5.2.** Reparación de grietas y fisuras en trabes y diafragmas.

**Fuente:** Propia.



**Dibujo: 5.2.** Representación de colocación de inyectores de resina epóxica para reparación de fisuras y grietas.

**Fuente:** Propia.

Para la realización de los trabajos de inyección se utilizó una resina epóxica con las características siguientes:

- **Componentes:** Estos productos termo-endurecedores están formados por una resina y un endurecedor exento de solventes.

Las resinas epóxicas para inyección deben de contar con las siguientes características físicas y químicas:

- Poca contracción y pérdida de volumen.
- Excelente adherencia y baja viscosidad.
- Buen comportamiento en presencia de humedad y endurecimiento rápido.
- Buen comportamiento a los agentes corrosivos.
- Resistencia a compresión a los 3 días =  $450 \text{ kg/cm}^2$ .
- Resistencia a compresión a los 28 días =  $600 \text{ kg/cm}^2$ .
- Resistencia a compresión a los 28 días =  $600 \text{ kg/cm}^2$ .
- Resistencia a tracción a los 28 días =  $200 \text{ kg/cm}^2$ .
- Módulo de elasticidad entre  $26000$  a  $32000 \text{ kg/cm}^2$ .



**Imagen: 5.3.** Resane de apanalamientos y acero expuesto del puente.

**Fuente:** Propia.

### **5.2.1. Reparación de las oquedades existentes en la superestructura.**

Los pasos para llevar a cabo la reparación de las oquedades se muestran a continuación:

1. Retirar el material suelto en las nervaduras por medio de cepillo de alambre o sanblasteo, dejando de esta manera una superficie limpia.
2. Con la limpieza del sanblasteo o cepillo el acero expuesto a la intemperie quedara libre de óxido e impurezas.
3. Con una brocha aplicar uniformemente Ferterbond u otro adhesivo similar con el fin de lograr una mejor adherencia entre el concreto existente y el mortero de reparación.

4. Colocar un mortero tipo Fester Grout nm o similar cuyas características mecánicas no sean inferiores a las siguientes:

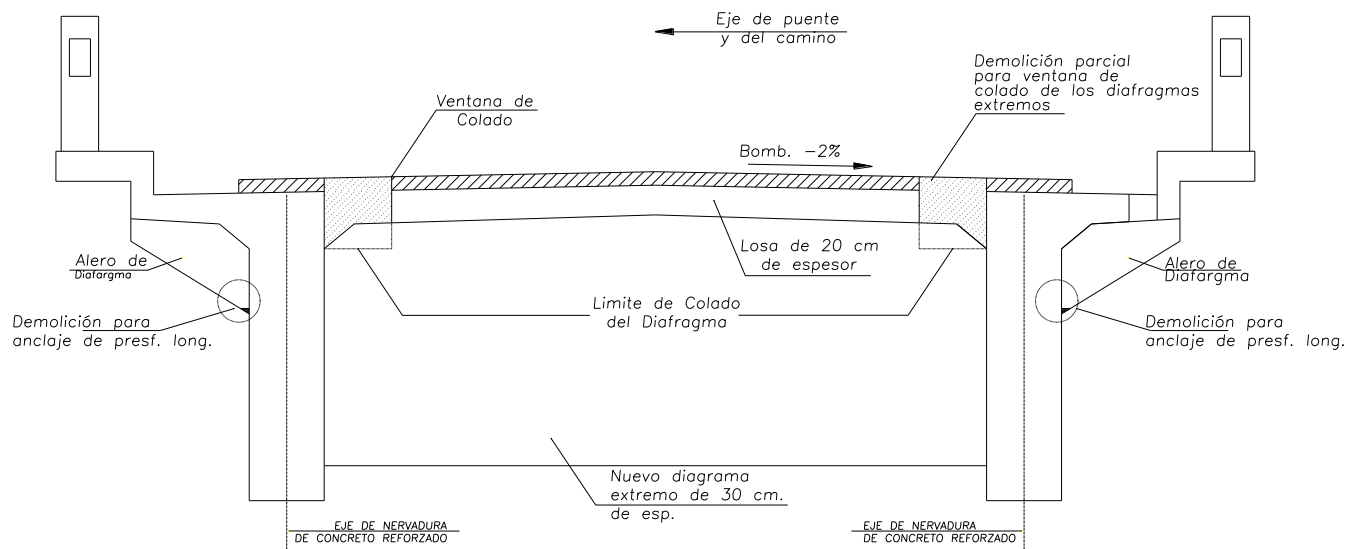
- Resistencia a la compresión a los 3 días = 450 Kg/cm<sup>2</sup>
- Resistencia a la compresión a los 28 días = 550 Kg/cm<sup>2</sup>
- Resistencia a la tracción a los 28 días = 40 Kg/cm<sup>2</sup>
- Módulo de elasticidad a los 28 días = 354000 kg/cm<sup>2</sup>

### **5.3. Demoliciones para ventana de colado.**

El siguiente paso dentro del proceso constructivo del puente La Huacana II, es necesario comenzar con las demoliciones de las ventanas de colado de los diafragmas extremos y demolición parcial en los aleros para colocar bloques desviadores de anclaje de pre esfuerzo longitudinal.

Este tipo de trabajo se debe realizar por carriles debido a las ventanas invaden por lo general medio carril, por tal motivo es necesario llevar a cabo este trabajo únicamente primero de un carril y terminando un lado se continua con el otro lado del puente. Sobre las ventanas de colado se colocaran placas de acero para permitir el tránsito vehicular.





**Dibujo: 5.3.** Vista transversal donde se realizarán las demoliciones.

**Fuente:** Propia.



**Imagen: 5.4.** Demolición por medio de rotomartillo para ventanas de colado.

**Fuente:** Propia.

### 5.3.1. Construcción, colocación y colado de bloques de anclaje.

Previo a los trabajos de construcción y colocación de bloques de anclaje, se deben realizar las perforaciones por medio de broca de punta diamante con una longitud de 55 centímetros y 1" de diámetro para el paso de pre esfuerzo transversal en diafragmas extremos e intermedios.

Se deberán construir 16 bloques de anclaje ocho de estos serán destinados para los diafragmas intermedios y extremos; mientras que los ocho restantes servirán de bloques desviadores y van colocados en las trabes longitudinales y en losa junto a los estribos del puente.

En la construcción de este tipo de bloques se construyó por medio de varilla de 3/4" como se muestra en la imagen siguiente:



**Imagen: 5.5.** Bloques de anclaje hechos en obra.

**Fuente:** Propia.



**Imagen: 5.6.** Bloques desviadores terminados.

**Fuente:** Propia.

Posteriormente a ser armados y colocados deberán ser colados por medio de concreto de  $350 \text{ kg/cm}^2$ . Por tal motivo se deberán esperar los 28 días correspondientes para que el concreto alcance su máxima resistencia como lo exige el proyecto ya que estos bloques tendrán que resistir grandes fuerzas sujetas a tensión. Una vez recibido el visto bueno de las pruebas laboratorio se podrán continuar con los trabajos de pre-esfuerzo longitudinal y transversal.

#### **5.4. Cambio de apoyos y construcción de topes antisísmicos.**

El cambio de apoyos consiste en realizar el cambio de neoprenos y en construir los topes antisísmicos que se encuentran en los estribos del puente, esto para evitar accidentes de la superestructura por volteo o deslizamiento de la misma, los cuales se pueden generar por sismo por el movimiento de los carros.



#### **5.4.1. Colocación de neoprenos.**

Se realizará el cambio de los cuatro neoprenos, en los apoyos por medio de izaje y gateo con gatos tipo botella, con una capacidad de 50 toneladas, esta maniobra se debe realizar de manera muy coordinada con cuatro gatos apoyados en cada cabezal del puente.

Todos los puentes cuentan con neoprenos móviles y fijos, este puente no es ajeno a este sistema ya que se le van colocar dos fijos y dos móviles en cada apoyo respectivamente, al realizar estos trabajos deberán realizar con tráfico por lo cual se recomienda que se continúe con el tráfico a goteo.

El cambio de neoprenos es un paso muy esencial para la reconstrucción y rehabilitación debido a sus características que se mencionan a continuación:

- ❖ 0.40 m. x 0.40 m. x 0.057 m.
- ❖ Hule especial para ofrecer alta durabilidad a la intemperie.
- ❖ Vulcanizables con ayuda de químicos esenciales que aseguran una perfecta adhesión.
- ❖ Existen dos tipo fijos y móviles.

En seguida se muestran las imágenes en donde se explican de manera más detallada el proceso para realizar el izaje y gateo para cambio de neoprenos:



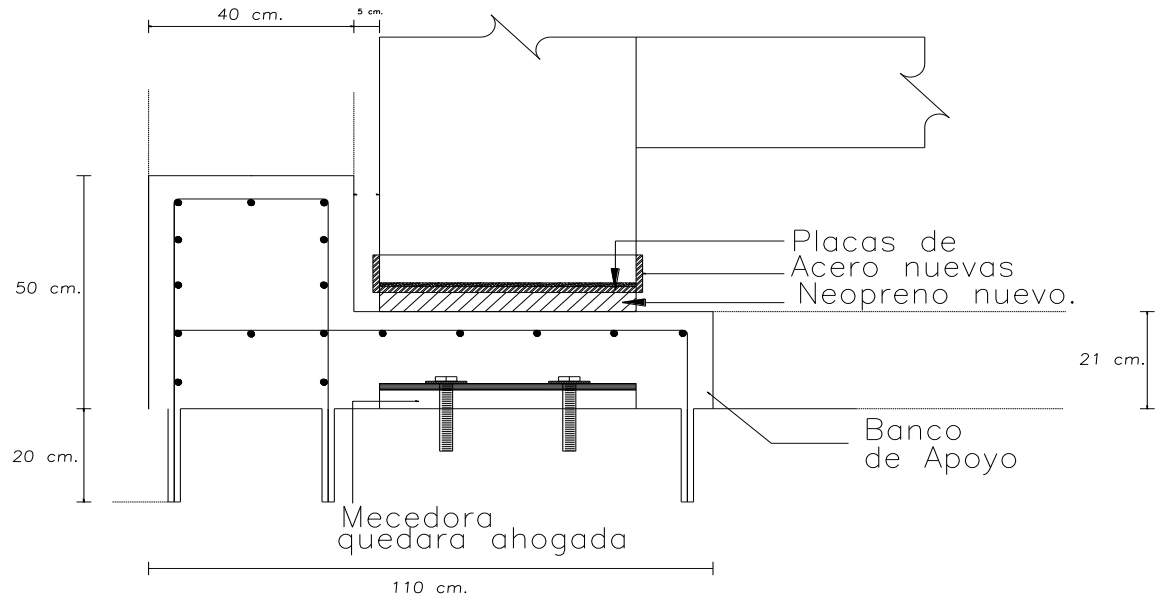
**Imágenes: 5.7.** Izaje y ganeo para cambio de neoprenos.

**Fuente:** Propia.

#### **5.4.2. Construcción de topes antisísmicos.**

Los topes antisísmicos se deben de realizar en obra con la finalidad de proteger a la superestructura de volteo y deslizamiento. Estos se construyen por medio varilla 3/4 de pulgada y colados con concreto de  $350 \text{ Kg/cm}^2$ , hecho en obra y su armado debe ser fijado al cabezal de apoyo por perforaciones de a 20 centímetros y fijadas por medio de cemento tipo grout.

Estos elementos se diseñaron de acuerdo a proyecto con las dimensiones y características que se muestran el dibujo de enseguida:



**Dibujo: 5.4.** Vista frontal de tope antisísmico.

**Fuente:** Propia.



**Imagen: 5.8.** Tope antisísmico construido.

**Fuente:** Propia.

## **5.5. Demolición y retiro de carpeta asfáltica existente.**

Se deberán continuar los trabajos ahora con la demolición de la carpeta asfáltica en toda la superficie de rodamiento y escarificado de concreto en toda el área de la losa, de igual manera que en los pasos anteriores el tráfico seguirá fluyendo a goteo para no interrumpir el paso total de los de los vehículos.

Los trabajos se deberán realizar por medio de una máquina retroexcavadora con rotomartillo para logra un mejor retiro del material asfáltico, todo esto se debe de realizar de manera minuciosa y cuidadosa procurando no dañar la losa del puente ya que esta será la base del refuerzo de sobrelosa.



**Imagen: 5.9.** Demolición de carpeta asfáltica.

**Fuente:** Propia.

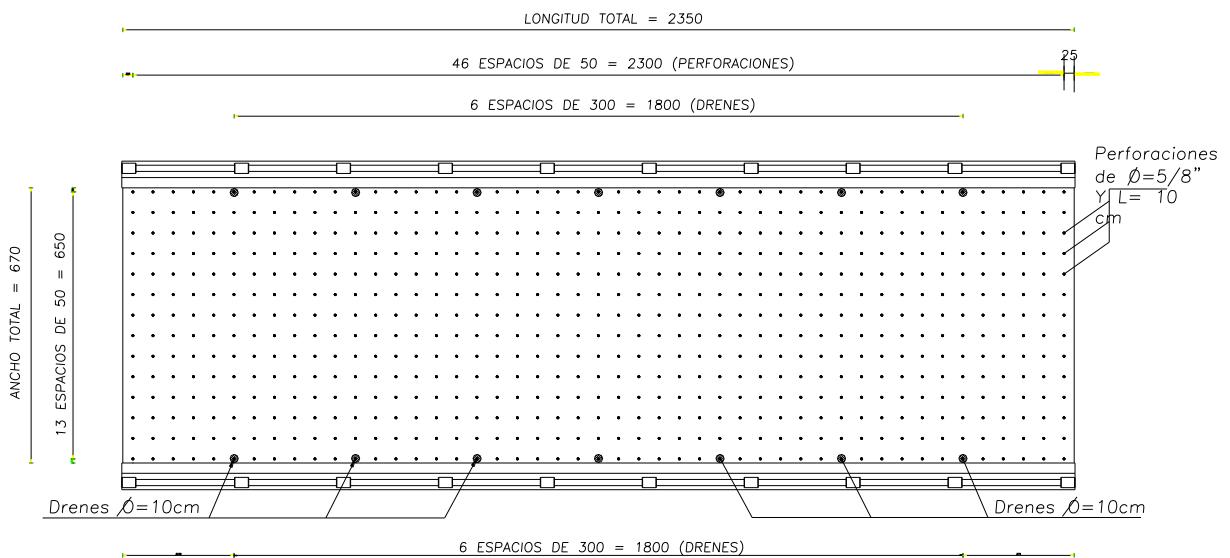
### **5.5.1. Sobrelosa.**

Este refuerzo llamado sobrelosa adquiere este nombre debido a que se construye encima de la losa existente, esto con la intención de formar un mayor

peralte en la losa y por tanto obtener mayor masa y al obtener mayor masa da como resultado mayor resistencia a cortante.

Para este refuerzo se usará concreto de  $250 \text{ kg/cm}^2$  cuya capacidad no será menor a 0.80, con revenimiento de 5 a 10 cm. Todo el concreto se vibrara al colarlo por medio de cemento Portland como lo indica la norma de acuerdo a la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT).

En cuanto al acero de refuerzo se refiere se deberá tener especial cuidado en la limpieza de las varillas, para evitar que tenga oxido suelto antes depositar concreto. Los empalmes serán traslapados o soldados y se localizarán según convenga en obra.



**Dibujo: 5.5.** Plano en planta de armado de sobrelosa.

**Fuente:** Propia.





**Imagen: 5.10.** Armado de sobrelosa, de un sólo carril para no detener el tráfico.

**Fuente:** Propia.



**Imagen: 5.11.** Colado de sobrelosa.

**Fuente:** Propia.

## 5.6. Postensado del puente.

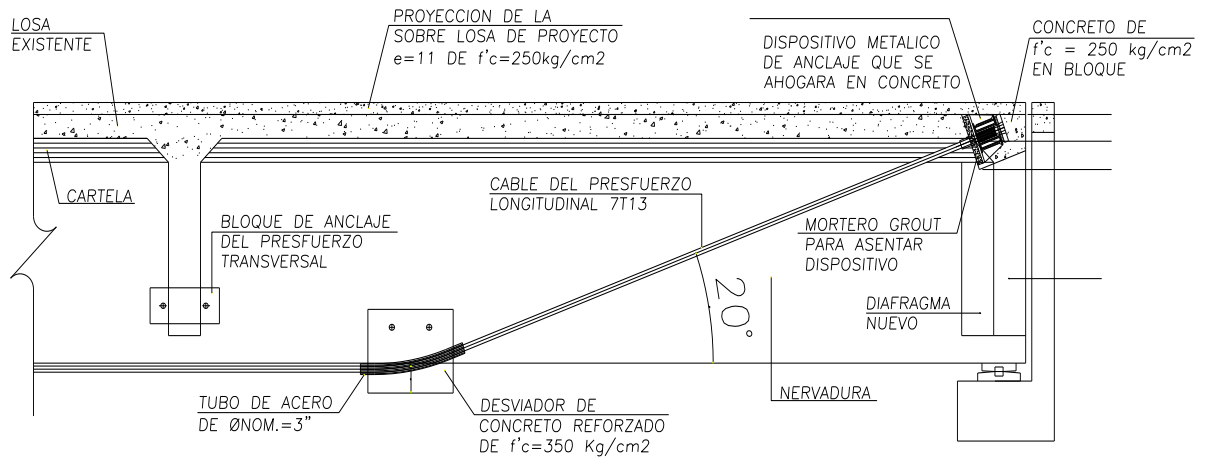
En el presente paso se menciona algo que también es conocido como pre-esfuerzo longitudinal y transversal, los cuales se aplican en las traveses longitudinales y diafragmas del puente en estudio respectivamente para realizar estos trabajos es necesario que el concreto con el que fueron fabricados los bloques de anclaje y los bloques desviadores, hayan cumplido con la demanda de resistencia que se requiere.

El acero de pre-esfuerzo para realizar este pasos muestra las características siguientes:

- ✓ Torones de 1/2" de diámetro.
- ✓ L.R.  $\geq 19000 \text{ Kg/cm}^2$ .
- ✓ Cada torón tensara 13.24 toneladas.
- ✓ Se obtendrá una fuerza total de 239.84 toneladas.
- ✓ Se tensaran ambos cables de manera simultánea.

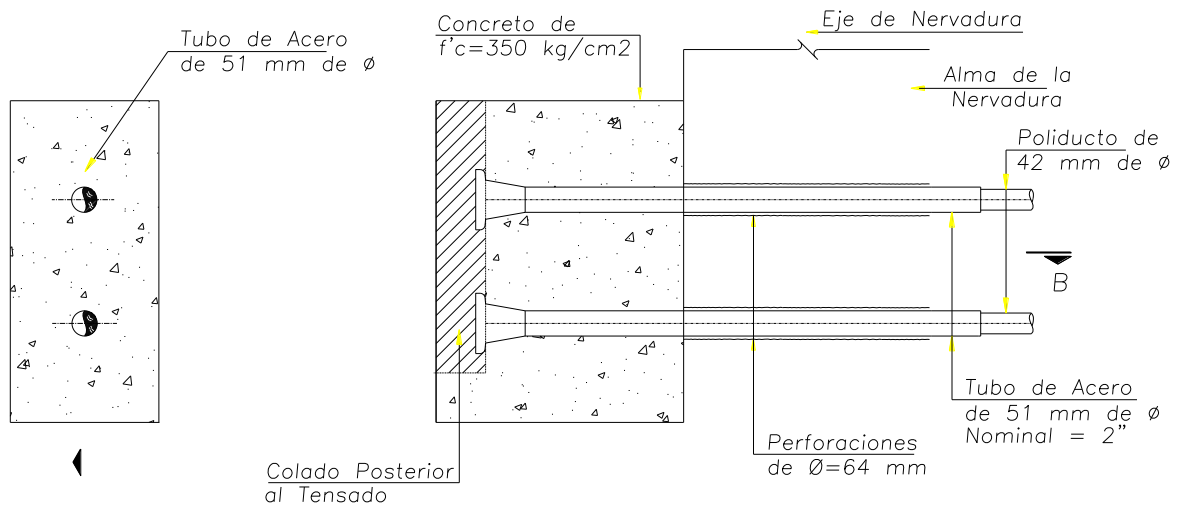
Los esfuerzos en los cables se estiman por medio de alargamiento en el extremo del ganeo y se comprobaran con la gráfica esfuerzo-deformación del acero. Con esto se ayudará al puente a resistir una carga viva de 66.5 toneladas en dos bandas de circulación.

Se mostrará enseguida el dibujo donde explica de manera más explícita como se realizará el postensado longitudinal:



**Dibujo: 5.6.** Corte a detalle de postensado longitudinal.

**Fuente:** Propia.



**Dibujo: 5.7.** Detalle de postensado transversal en diafragmas.

**Fuente:** Propia.





**Imagen: 5.12.** Nivel de la sobrelosa con respecto al apoyo.

**Fuente:** Propia.



**Imagen: 5.13.** Nivel de la sobrelosa con respecto al apoyo.

**Fuente:** Propia.



**Imagen: 5.14.** Colocación de torones para postensado.

**Fuente:** Propia.



**Imagen: 5.15.** Momento en que se realiza el postensado.

**Fuente:** Propia.

## 5.7. Colocación de juntas de dilatación.

Posteriormente a los trabajos de postensado, se continúa con el suministro y colocación de las juntas de dilatación, por medio del proceso que se menciona a continuación:

- Cerrar el carril derecho para realizar la reparación de la junta de dilatación sobre los ejes uno y dos, colocando señalamiento diurno adecuado. El nocturno y los bandereros.
- Durante los trabajos de construcción de la sobrelosa, se dejó la preparación para colocar las juntas de dilatación.
- Realizar una demolición de 20 x 8 centímetros de sección. Para tener al final sección de 20 x 20 en cada extremo, la demolición se debe hacer solo medio ancho de la calzada para permitir el tránsito de vehículos en el otro carril.
- Colocar los ángulos y placas de acero del paño de ambos tableros en la mitad del ancho de la calzada.
- Colocar y habilitar el ancho del perfil en la calzada en ambos lados de la junta.
- Checar la nivelación de la junta y verificar que la distancia entre los perfiles a ambos lados de la junta de dilatación sea de 5 centímetros.
- Habilitado de del acero de refuerzo de las juntas de dilatación y colocación del poliestireno expandido.
- Colar y vibrar la zona de demolición realizada en la calzada, con un concreto de una resistencia igual a  $300 \text{ kg/cm}^2$ . Asegurándose de no mover los perfiles de la junta, antes de realizar el colado se aplica un aditivo para lograr una correcta adhesión entre concreto existente y el concreto nuevo.



- Cuando el concreto de la junta alcance la resistencia del proyecto, se abrirá a la circulación el carril derecho y se cerrará el carril izquierdo.
- Se repetirá lo antes citado para el carril derecho.
- Una vez que el concreto alcance la resistencia de lo proyectado, se colocará el perfil de neopreno en todo el ancho de calzada, previamente se retira el poliestireno para alojar la banda de neopreno. Se deberá inyectar lechada de cemento en las hendiduras de la junta.



**Imágenes: 5.16.** Colocación y colado de juntas de dilatación.

**Fuente:** Propia.

## 5.8. Colocación de carpeta asfáltica.

Para finalizar los trabajos de reconstrucción y rehabilitación del puente La Huacana II se realizara la colocación de la nueva carpeta asfáltica de 12 centímetros de espesor tanto en lo que es el puente como lo son los accesos para nivelación de los estos.



**Imágenes: 5.17.** Colocación de carpeta asfáltica.

**Fuente:** Propia.





**Imágenes: 5.18.** Planchado de carpeta asfáltica.

**Fuente:** Propia.

Por lo tanto, en la presente investigación se logró finalizar con la colocación de carpeta asfáltica se prosiguió con los trabajos secundarios de pintura general de los parapetos del puente y balizamiento de la carpeta asfáltica, definiendo de esta manera los anchos de corona y de calzada para el tránsito vehicular en ambos sentidos.

Enseguida se continuó con los trabajos de limpieza de taludes, el cual consistió en retirar toda la maleza, basura y poda de árboles existentes, así como el

afine de terracerías de los mismos con sus respectivos señalamientos carreteros fijos, también sobre los taludes se construyeron dos escaleras peatonales a beneficio del transporte público de este municipio.

Al no contar esta obra con cunetas de captación de aguas pluviales, fue necesario construir cuatro lavaderos de concreto de 100 kg/cm<sup>2</sup>, para ayudar a la descarga del agua en la temporada de lluvias todos lavaderos fueron encausados en dirección al Rio que libra el puente en mención.

Posteriormente se realizó la limpieza general de la obra, para dicha actividad se retiró todo el escombro existente producto del as demoliciones de concreto y de carpeta asfáltica existente, después se retiró todo el acero de desperdicio y el señalamiento que se colocó de manera provisional para la ejecución de la obra.

Por último el proceso constructivo terminó con la aplicación de pintura a toda superestructura para darle una terminación estética al trabajo y de esta manera cerrar acuerdos de bitácora entre la residencia por parte de la empresa contratista y supervisión de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT).

Se muestra tabla donde se especifican todas las actividades que se ejecutaron durante el proceso constructivo y el tiempo en días naturales que duro toda la obra la cual se muestra a continuación:

<b>PROCESO CONSTRUCTIVO DE POSTENSADO DE PUENTE LA HUACANA II.</b>		
<b>PARTIDA</b>	<b>CONCEPTO</b>	<b>DIAS DE EJECUCION</b>
1	Cambio de apoyos.	3
2	Colocación de señalamiento.	2
3	Verificación de dimensiones y limpieza general.	3
4	Reparación de fisuras y oquedades del puente.	15
5	Demoliciones para ventanas de colado.	1
6	Construcción, colocación y colado de bloques de anclaje.	5
7	Cambio de apoyos y construcción de topes antisísmicos.	5
8	Colocación de neoprenos.	1
9	Demolición y retiro de carpeta asfáltica.	2
10	Habilitación de acero y colado de sobrelosa.	15
11	Postensado del puente.	2
12	Colocación de juntas de dilatación	4
13	Colocación de carpeta asfáltica.	2
14	Limpieza de taludes.	1
15	Construcción de escaleras peatonales.	3
16	Construcción de lavaderos de descarga de agua pluvial.	3
17	Aplicación de pintura a la superestructura.	2
18	Limpieza general de la obra.	1
19	Retiro de letreros.	1
<b>TOTAL DE DIAS DE EJECUCION DE LOS TRABAJOS.</b>		<b>71</b>

**Tabla: 5.1.** Tiempo de ejecución del proceso constructivo de la obra.

**Fuente:** Propia.



## **CONCLUSIONES.**

Al inicio de la presente investigación se planteó un objetivo general el cual se cumplió al determinar la capacidad y funcionalidad de los trabajos consistentes en reconstrucción y rehabilitación de puentes, se aprecian de manera clara las ventajas económicas que se obtiene al realizar estos trabajos, dichos trabajos se realizaron de acuerdo a las normas de Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). Por lo cual se pueden considerar los trabajos hechos de esta investigación son correctos y eficientes, ya que cumple con los requisitos de la dependencia antes mencionada.

Referente a los siete objetivos particulares de la presente investigación se logró cumplir con todos; el primer objetivo es la definición de puentes, el cual se obtuvo con el estudio del origen de estos y los tipos de puentes que se han construido en todo el mundo.

Después se logró señalar en qué consiste la reconstrucción y rehabilitación de puentes, mencionando los diferentes tipos de mantenimientos que se le deben de realizar a las estructuras y subestructuras de los puentes, y basados en esto se establecieron las ventajas de postensar cumpliendo con el segundo y tercer objetivo particular de la presente investigación.

Al realizar el estudio de campo y antes de iniciar los trabajos en la obra, se inicio un reporte donde se detectaron las partes dañadas y a reparar del puente en estudio para conformar el proceso constructivo a ejecutar, especificando materiales, mano de obra, maquinaria y/o equipos que se utilizaron en la obra y por lo tanto

obtener el costo-beneficio real al ejecutar en trabajos de esta índole. Logrando cumplir los objetivos particulares cuatro, cinco, seis y siete de la investigación.

Se logró responder la pregunta investigación la cual se planteo de la siguiente forma. ¿Cuáles son las ventajas de postensar y cómo reparar el puente sin detener el tráfico y sin generar impactos económicos a la sociedad del municipio de La Huacana?

Al concluir el cálculo, análisis y la interpretación de resultados, se explica de manera clara paso a paso de forma secuencial el trabajo de un proceso constructivo de tal envergadura, sin detener tráfico, realizando trabajos de rehabilitación y sin afectar a la sociedad, de esta manera se logró cumplir y dar una respuesta a la pregunta de investigación gracias a la explicación y desglose del capítulo anterior.

Al realizar estos trabajos se descubrieron diferentes hallazgos teóricos, el principal es como prolongar la vida útil y de servicio del puente La Huacana II, sin embargo, esto no significa que este puente ya no requiera de mantenimiento periódico, ya que la falta de mantenimiento, fue una de las principales causas para que este puente tuviera que ser sometido a la reconstrucción y rehabilitación.

Previamente a los trabajos realizados los deterioros o desgastes pueden ser menores, pero con el paso del tiempo se irán incrementando, es por esto que un puente requiere de mantenimiento o conservación, lo cual consiste en realizar de manera secuencial reparaciones simples las cuales prolongan la vida del proyecto.

Otro de los objetivos de este trabajo es evitar el deterioro de la infraestructura en el país, ya que por medio de este tipo de investigaciones se pueden evitar daños

físicos, que se reparan con recursos extras a lo estimado, lo cual genera impactos económicos a empresas constructoras, dependencias gubernamentales, sociedad en general, etc.

En la elaboración de esta tesis se propone un procedimiento constructivo eficaz, económico y de calidad para lograr una prolongada vida útil a la infraestructura nacional de puentes, realizando estos trabajos con normas de la SCT. Logrando así un mejor rendimiento de los puentes y minimizando accidentes e impactos económicos para el presupuesto nacional.

## Bibliografía.

- Crespo Villalaz, Carlos (1996).  
Vías de comunicación.  
Edit. Limusa, México
- Gómez Soberon, María de la Consolación (2009).  
Técnicas comunes de evaluación y reforzamiento de puentes.  
2° Simposio Internacional de Puentes.
- Hernández Sampieri, Roberto y Cols. (2004).  
Metodología de la investigación.  
Ed. Mc Graw Hill. México.
- Jara, José María (2009).  
Vulnerabilidad sísmica de puentes de la red carretera nacional.  
2° Simposio Internacional de Puentes.
- Medina Martínez, Omar (2010).  
“Diseño del proyecto geométrico de la carretera “El Capulín” del tramo 0+000  
al km 2+270 en el municipio de Zitácuaro, Michoacán.  
Tesis inédita de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Don Vasco  
A.C. de Uruapan, Michoacán, México.
- Mendieta Alatorre, Angeles (2005).  
Métodos de investigación y manual académico.  
Ed. Porrúa. México.

- Merritt, S., Frederick (1999).  
Manual de Ingeniero Civil.  
Edit. Limusa, México.
- Raya Tovar, Humberto (2011).  
Propuesta para la conservación rutinaria del tramo carretero “Uruapan – El Sabino” del km 4+520 al km 8+220 en base a las normas de la SCT.  
Tesis inédita de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Don Vasco A.C. de Uruapan, Michoacán, México.
- Sánchez Corza, José Antonio (2005).  
“Procedimientos constructivos puente “Barranca El Limón.”  
Tesis inédita de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Don Vasco A.C. de Uruapan, Michoacán, México.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2009).  
Manuales y normas. México.

## Otras fuentes de información.

<http://www.wikipedia.org> (2014).

<http://www.herrera.unt.edu.ar> (2014).

<http://www.paginadelconstructor.edu> (2014).

<http://www.sct.gob.org> (2014).

<http://www.capufe.gob.org> (2014).

<http://www.google.earht.com>

<http://www.inegi.gob.mx>.

# **ANEXOS**

## SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

SUBSECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA

DIRECCION GENERAL DE CONSERVACION DE CARRETERAS

000091066-050-09

CONCURSO No. CARAPAN-PLAYA AZUL

OBRÁ: MORELIA, MICH., 18 DE NOVIEMBRE 2014

FECHA: VIAR A COMPAÑIA CONSTRUCTORA S.A DE C.V.

E-7

SUB-TRAMO: URUAPAN-ARTEAGA

TRAMO: 124+233

ORGEN: CARAPAN

CARRETERA: CARAPAN-PLAYA AZUL

## PRESUPUESTO

No.	NORMA DE OBRA PUBLICA O ESPECIFICACION	DESCRIPCION	CANTIDAD DE OBRA	UNIDAD	PRECIO CON LETRA	UNITARIO	CON NUMERO	IMPORTE EN \$
1.00	N. CTR. CAR. 1.01.007.00 1)	PUENTE "LA HUACANA I" TERRACERAS, P.U.O.T. EXCAVACION PARA CANALES, P.U.O.T. RETIRO DE MATERIAL EN TALUD (N-CTR-CAR.1.01.006)	90.00	M3	CIENTO DIECINUEVE PESOS 54/100 MN		119.54	10,758.60
2.00	N. CTR. CAR. 1.01.006 A)	LIMPEZA DE TALUDES P.U.O.T.	960.00	M2	SEIS PESOS 22/100 MN		6.22	5,971.20
3.00	N. CTR. -CAR. 1.01.0110.0	RELLENOS, P.U.O.T. CON MATERIAL DE BANCOAL 95% DE SU COM- PACTACION RELLENO DE MATERIAL EN TALUD (SEGUN PROYECTO, P.U.O.T.)	60.00	M3	CIENTO NOVENTA PESOS 30/100 MN		190.30	11,418.00
4.00	N. CTR. CAR. 1.02.006.01 A)	ESTRUCTURAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO TRAB. DE PRESFUERZO EXTENSO (SEG. PLANOS 3A, 5.6 Y 7) DE 2 TRABES DE CONC. REFORZADO CON LONG. DE 23.50 MTOTAL DEL PUENTE. INC. CONC. REFORZADO Fc=350 KG/CM2 Y ACERO LE=4000 KG/CM2 EN BLOQUES DES- VIADORES DESVIADORES DE CONC. REF. DEMOLIC. PANCAJAE DEMOLIC. DE MURO	1.00	LOTE	CIENTO OCHENTA Y CUATRO MIL CINCUENTA Y CINCO PESOS 72/100 MN		184,055.72	184,055.72
						SUMA ESTA HOJA		212,203.52

UNIVERSIDAD DON VASCO A.C.  
ESUELA DE INGENIERIA CIVILALUMNO: JUAN MANUEL VILLEGAS TULIAS.  
ASESOR: ING. JOSE ANTONIO SANCHEZ CORZA  
DIRECTOR: ING. ANASTASCO BLANCO SIMIANO.







